

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

Eje Vertical Modular Soldado



Máster Universitario en
Ingeniería Industrial

Trabajo Fin de Máster

Autor José Francisco Elio Jimeno

Directora Vanesa Estremera Carrera

Pamplona, a 18 de septiembre de 2017

INDICE

1.	AGRADECIMIENTOS	3
2.	OBJETO DEL PROYECTO	4
2.2.	AGENTES	4
2.3.	OBJETO DEL PROYECTO.....	4
3.	ANTECEDENTES O ESTADO DEL ARTE	6
3.1.	DEFINICIÓN DE MÁQUINA HERRAMIENTA	6
3.2.	TABLA CLASIFICACIÓN MÁQUINA HERRAMIENTA	7
3.3.	RESUMEN DE LA HISTORIA DE LA MÁQUINA HERRAMIENTA	8
3.4.	DESCRIPCIÓN DE LA FRESADORA O TALADRADORA DE PORTICO.	12
4.	PROCESOS EN LA CREACIÓN DE LA CALDERERIA	13
4.1.	CALDERERIA INDUSTRIAL	13
4.2.	SOLDADURA	15
4.2.1.	TIPOS DE SOLDADURAS	16
4.2.2.	SOLDADURA MANUAL POR ARCO	17
4.2.3.	SOLDADURA MIG-MAG	19
4.3.	ALIVIO DE TENSIONES RESIDUALES.....	20
4.3.1.	TENSIÓN RESIDUAL.....	20
4.3.1.1.	TÉCNICAS PARA ALIVIO DE TENSIONES RESIDUALES.....	21
4.4.	PROCESO DE LIMPIEZA DE PIEZA MEDIANTE GRANALLADO	23
4.5.	PROCESO DE IMPRIMACIÓN Y ACABADO DE PIEZA	24
5.	PROGRAMAS DE CÁLCULO UTILIZADOS	25
5.1.	CATIA.....	25
5.2.	NX 9 NASTRAM	28
6.	DATOS DE PARTIDA.....	31
6.1.	FUERZAS EN PUENTA DE HERRAMIENTA	31
6.2.	PLAZOS	32
7.	DESCRIPCIÓN EJE VERTICAL CONVENCIONAL.....	33
8.	DESCRIPCIÓN DE POSIBLES SOLUCIONES	37
8.1.	EJE VERTICAL MODULAR ARTORNILLADO.....	38
8.1.1.	MÓDULO SUPERIOR ATORNILLADO	39
8.1.2.	MÓDULO INTERMEDIO ATORNILLADO.....	40
8.1.3.	MÓDULO INFERIOR ATORNILLADO	41
8.1.4.	UNIÓN DE LOS DISTINTOS MODULOS	42
8.1.5.	VENTAJAS DEL USO DE SISTEMA MODULAR ATORNILLADO	44

8.1.6.	INCONVENIENTES DE SISTEMA MODULAR ATORNILLADO	46
8.2.	EJE VERTICAL MODULAR SOLDADO	47
8.2.1.	MÓDULO SUPERIOR SOLDADO	48
8.2.2.	MÓDULO INTERMEDIO SOLDADO	49
8.2.3.	MÓDULO INFERIOR SOLDADO	50
8.2.4.	UNIÓN DE LOS DISTINTOS MÓDULOS	51
8.2.5.	VENTAJAS DEL USO DE SISTEMA MODULAR SOLDADO	52
8.2.6.	INCONVENIENTES DEL USO DE SISTEMA MODULAR SOLDADO	53
8.3.	SOLUCIÓN ADOPTADA	54
9.	CÁLCULO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA	56
9.1.	ESTUDIO DE LA RIGIDEZ EN COMPARACIÓN CON EL EJE VERTICAL CONVENCIONAL.	56
9.1.1.	RIGIDEZ EJE VERTICAL CONVENCIONAL	57
9.1.1.1.	CUADRO RESUMEN RIGIDEZ EJE VERTICAL CONVENCIONAL EN CADA UNO DE LOS EJES ..	60
9.1.1.2.	GRÁFICA RESUMEN DE RIGIDEZ EJE VERTICAL CONVENCIONAL EN CADA UNO DE LOS EJES	60
9.1.2.	RIGIDEZ EJE VERTICAL MODULAR SOLDADO	61
9.1.2.1.	CUADRO RESUMEN RIGIDEZ EJE VERTICAL MODULAR SOLDADO EN CADA UNO DE LOS EJES	64
9.1.2.2.	GRAFICA RESUMEN DE RIGIDEZ EJE VERTICAL MODULAR SOLDADO EN CADA UNO DE LOS EJES	64
9.1.3.	COMPARATIVA RIGIDEZ EJE VERTICAL CONVENCIONAL/EJE VERTICAL MODULAR SOLDADO	65
9.1.3.1.	RELACIÓN DE RIGIDECES EJE VERTICAL	65
9.1.3.2.	GRÁFICA RESUMEN RELACIÓN RIGIDECES EJES VERTICALES	65
9.2.	ESTUDIO DE LOS MODOS DE VIBRACIÓN EN COMARACIÓN DEL EJE VERTICAL CONVENCIONAL CON EL EJE VERTICAL SOLDADO	66
9.2.1.	MODOS DE VIBRACIÓN EJE VERTICAL CONVENCIONAL.	66
9.2.2.	MODOS DE VIBRACIÓN EJE VERTICAL MODULAR SOLDADO	76
9.2.3.	CUADRO RESUMEN MODOS DE VIBRACIÓN EJE VERTICAL CONVENCIONAL FRENTE EJE VERTICAL MODULAR SOLDADO	86
9.2.4.	GRÁFICA RELACIONANDO LOS MODO DE VIBRACIÓN	87
9.2.5.	RELACIÓN MODOS DE VIBRACIÓN	88
9.2.6.	GRÁFICO RELACIÓN MODOS DE VIBRACIÓN	89
9.3.	SOLDADURAS	90
10.	ÍNDICE DE PLANOS	95
10.1.	PLANO 1: Módulo intermedio soldado calderería.	96

10.2.	PLANO 2: Despiece partes de calderería módulo soldado intermedio	97
10.3.	PLANO 3: Módulo superior soldado calderería.....	98
10.4.	PLANO 4: Despiece partes de calderería módulo soldado superior.	99
10.5.	PLANO 5: Módulo inferior soldado calderería	100
10.6.	PLANO 6: Despiece partes de calderería módulo soldado inferior.....	101
10.7.	PLANO 7: Conjunto eje vertical modular soldado.....	102
11.	DISEÑO Y CÁLCULO DE LA TECNOLOGIA DE SOLDEO	103
11.1.	ELECCIÓN DEL SISTEMA DE SOLDEO MIG/MAG	103
11.2.	INSTALACIÓN PARA SOLDADURA MIG.....	103
11.2.1.	LA ELECCIÓN DE ESTE SISTEMA ES DEBIDO A LAS SIGUIENTES VENTAJAS QUE PRESENTA. 104	
11.3.	DIMENSIONES DE PLACAS A SOLDAR.....	105
11.4.	GEOMETRIA DE SOLDADURAS A SOLDAR	106
11.4.1.	MATERIAL BASE	109
11.4.2.	MATERIAL DE APORTE	110
11.5.	CÁLCULO DE PARAMETROS TECNOLOGICOS DE LA SOLDADURA MAG.....	111
11.5.1.	SELECCIÓN DEL TIPO DE TRANSFERENCIA.....	111
11.5.2.	PARÁMETROS SEGÚN EL TIPO DE TRANSFERENCIA	112
11.5.2.1.	LA POLARIDAD DE LA CORRIENTE ELECTRICA	112
11.5.2.2.	DIÁMETRO DEL HILO	113
11.5.2.3.	INTENSIDAD DE LA CORRIENTE ELECTRICA	113
11.5.2.4.	VOLTAJE DEL ARCO ELECTRICO	113
11.5.2.5.	VELOCIDAD DEL PROCESO DE SOLDEO	114
11.5.2.6.	VELOCIDAD DE SUMINISTRO DE ALAMBRE.....	115
11.5.2.7.	FLUJO DE GAS DE PROTECCIÓN.....	115
11.5.2.8.	ENERGIA EN EL PROCESO DE SOLDEO.....	115
11.5.2.9.	TABLA RESUMEN	116
11.5.2.10.	TEMPERATURA DE PRE-CALENTAMIENTO EN LAS UNIONES	117
12.	CONCLUSIONES.....	119
13.	BIBLIOGRAFIA.	121

1. AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a todos los profesores que he tenido a lo largo de este máster, por aportar cada uno un poco en mis conocimientos sobre las materias.

Me gustaría también agradecer a Vanesa Estremera Carrera, por haber sido la directora y tenido la paciencia de haber seguido y aconsejado a la hora de realizar el trabajo final de máster para llevarlo a su fin.

También me gustaría agradecer a todos los compañeros, que he tenido mientras lo realizaba, ya que me han hecho pasar buenos ratos.

Por todo ello, muchas gracias a todos.

2. OBJETO DEL PROYECTO

2.2. AGENTES

AUTOR DEL PROYECTO: El presente proyecto ha sido realizado por el estudiante del Master Universitario en Ingeniería de Materiales y Fabricación, por la UPNA; José Francisco Elio Jimeno, y residente en ARTAJONA.

2.3. OBJETO DEL PROYECTO

Primero empezaré por describir lo que es una máquina herramienta fresadora o taladradora de pórtico, que son aquellas en las que el cabezal portaherramientas se encuentra en la posición vertical, (en un eje vertical que es en la parte en la que centro mi estudio), sobre una estructura con dos columnas, situadas a los lados opuestos de la mesa, en la cual se sitúa lo que sería la pieza a fresar o taladrar.

El objetivo del proyecto fin de master sería hacer un eje vertical modular de manera que tendríamos almacenados los módulos que componen el eje vertical, reduciendo así los plazos que cuesta hacer una nueva pieza y que suele ser uno de los problemas detectados; según mi experiencia, varía entre las 8 semanas y las 14 semanas y principalmente se dedican a la fabricación de la calderería de las piezas, de este modo se podría en un día realizar el ensamblaje de los ejes verticales, ya que la mayor parte del trabajo ya estaría hecha, que serían los módulos que componen el eje vertical.

Esto también sería aplicable a otros ejes de máquinas, como podría ser el eje horizontal del pórtico que debido a su tamaño suele tener un plazo superior.

Otro de los objetivos sería el de utilizar los conocimientos adquiridos a lo largo del máster en las distintas asignaturas y aplicarlas unas más y otras menos en la realización del trabajo fin de máster.

Para llevar a cabo el trabajo, primero realizaré el estudio de un eje vertical, basado en mi experiencia con unos datos de partida, y estudiaré su rigidez y sus modos de vibración, mediante la utilización de programas de diseño 3D, como puede ser Catia y otro de cálculo por elementos finitos, como puede ser NX9.0, e intentaré realizar la modulación del eje de manera que consiga unos valores similares, ya que sé, que son los que funcionan.

Una vez hecho el estudio, diseñare dos posibilidades para la realización de la modulación del eje vertical, veré los pros y los contras de cada una.

Tras elegir la opción, que a mi modo de ver es más beneficiosa en costo, plazos y realización, estudiaré el modo de fabricación de la misma, viendo las distintas fases a realizar para su elaboración.

Una vez explicado el proceso de fabricación, finalmente, resumiré las conclusiones a las que he llegado.

3. ANTECEDENTES O ESTADO DEL ARTE

3.1. DEFINICIÓN DE MÁQUINA HERRAMIENTA

Hay multitud de definiciones para decir que es una máquina herramienta, una de las que he encontrado, podría ser la de un conjunto de órganos y elementos dispuestos para la transformación mecanicogeométrica de diversos materiales sólidos, principalmente metales, aunque la más utilizada es la del Comité Europeo de Cooperación de las Industrias de las Maquinas-Herramientas, CECIMO, que las describe como las maquinas no portables, que operadas por una fuente exterior de energía, conforman los metales, por arranque de viruta, abrasión, choque, precisión, procedimientos eléctricos o una combinación de los anteriores.



Fig.3.1.1

3.2.TABLA CLASIFICACIÓN MÁQUINA HERRAMIENTA

Existen diversas clasificaciones de las máquinas-herramienta, desde su movimiento o desde la función que van a realizar, como puede ser la tabla según CECIMO.

MAQUINAS-HERRAMIENTA			
A. Arranque de viruta		B. Deformación y corte	
A1. Por herramienta metálica	A2. Por abrasión y fenómenos eléctricos	B1. Deformación por presión y choque	B2. Corte por presión
A10.Tornos	A21.Rectificadoras y bruñidoras	B11.Prensas mecánicas	B21.Cizallas, tijeras, entalladoras y punzonadoras
A11.Fresadoras	A22.Afiladoras	B12. Prensas hidráulicas y oleo-neumáticas	
A12.Taladradoras	A23.Pulidoras, lijadoras y amoladoras	B13.Maquinas para forjar	
A13.Roscadoras	A24.Maquinas de electroerosión y otros fenómenos eléctricos	B14.Maquinas para trabajar el alambre	
A14. Mandrinadoras		B15.Maquinas para ensayos	
A15.Cepillos, limadoras		B16. maquinas para fabricar tornillos, bulones y tuercas	
A16.Maquinas especiales y transfer		B17.Maquinas para trabajar la chapa	
A17.Centros de mecanizado		B18.Maquinas para conformar los metales en barras, perfiles y tubos	
A18.Sierras y maquinas de limar			
A19.Maquinas para fabricación de engranajes			

Tabla 3.2.1

Según la tabla, podríamos diferenciar en un primer grupo las de arranque de viruta y deformación y corte.

Las de arranque de viruta se podrían realizar por herramientas metálicas, por abrasión o fenómenos eléctricos.

La deformación y corte podría lograrse por presión o choque.



Fig.3.2.1

3.3. RESUMEN DE LA HISTORIA DE LA MÁQUINA HERRAMIENTA

En un principio las máquinas y mecanismos sirvieron básicamente para la molturación de grano, que en un principio se realizaba con un mortero hasta que paso a realizarse con un molino de rotación, la más destacable sería la rueda hidráulica que, en un principio, se utilizaba en labores del campo, como puede ser la molienda del cereal pero, finalmente, llegó a ser una fuente de energía utilizada en diversos procesos, como por ejemplo, la obtención de energía mediante una turbina para el iluminado de una vivienda.

Utilizar el viento para producir energía con los molinos de viento también fue otro de los descubrimientos.

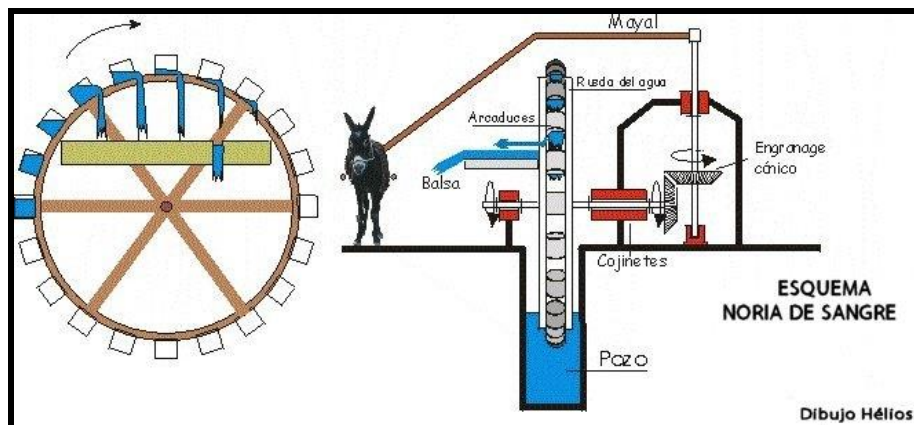


Fig.3.3.1 y Fig.3.3.2

Pero el hecho histórico más importante, de lo que hoy se asemejaría más a la máquina herramienta actual, sería hacia el año 1250 cuando se desarrolla el torno evolucionando el sistema de propulsión mediante el accionamiento de un arco, el problema era que el movimiento lo hacía discontinuo

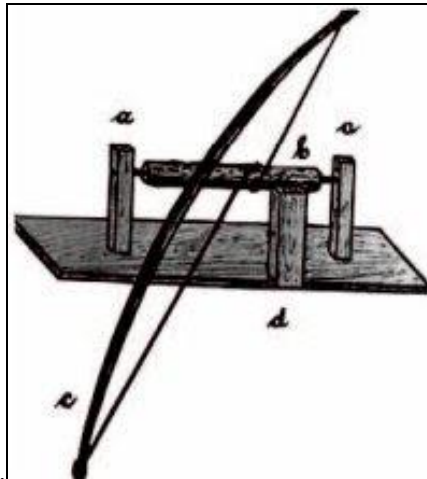


Fig.3.3.3

La siguiente evolución en el torno hacia 1480 tenía la virtud de combinar un pedal con un vástago y una biela. Con la aplicación de este mecanismo nació el torno de accionamiento continuo, lo que implicaba el uso de biela-manivela, que debía ser combinada con un volante de inercia para superar los puntos muertos y así se podían dejar las manos libres para el manejo de la pieza o herramienta.



Fig.3.3.4

Posteriormente, a partir del siglo XVI, se introdujeron mejoras como elementos de fundición, tales como soportes, ruedas, apoyos de herramientas.

En 1568 se introdujo el mandril, que sería una pieza cilíndrica, que aseguraba lo que posteriormente se iba torneando, hoy en día llamado contrapunto.



Fig.3.3.5

A partir de la Primera Revolución Industrial, se produce el desarrollo de diversas máquinas, principalmente utilizando como energía el vapor y el desarrollo de la máquina textil.

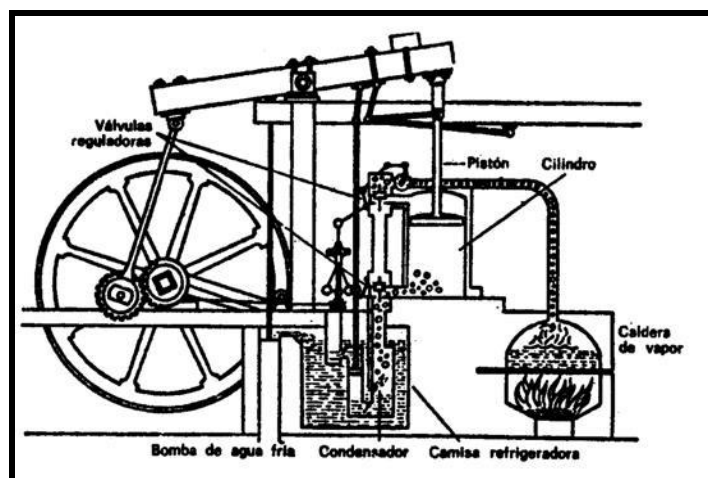


Fig.3.3.6

En los siguientes años se produce una gran evolución en los medios de transportes, y comienzan a aparecer las Maquinas-Herramientas, la industria pesada y otras más complejas, como son las de la metalurgia, química y eléctrica.

Entre las Maquinas-Herramientas que tuvieron gran importancia durante la Primera Revolución Industrial podrían destacarse los tornos, las mandriladoras, los primeros cepillos y amortajadoras, las presas hidráulicas y las fresadoras.

Ya en el siglo XX se ve influenciado el desarrollo de la máquina herramienta la industria del automóvil lo que la hace evolucionar hacia procesos cada vez más precisos.



Fig.3.3.7

Otro factor importante en la evolución de la Máquina-Herramienta y en los distintos materiales son el estallido de las dos grandes guerras como son la I y II guerra mundial, aunque sean hechos muy desagradables.

En España la principal zona donde comienza a fabricarse Máquina-Herramienta es el País Vasco alrededor de 1960.

3.4. DESCRIPCIÓN DE LA FRESADORA O TALADRADORA DE PORTICO.

Las fresadoras o taladradoras de pórtico son aquellas en las que el cabezal portaherramientas se encuentra en posición vertical sobre una estructura con dos columnas situadas a los lados opuestos de la mesa la herramienta puede moverse verticalmente u horizontalmente, mientras que la pieza puede moverse de manera longitudinal.

Algunas de estas mesas pueden llegar a tener sendos cabezales horizontales que pueden desplazarse verticalmente en sus respectivas columnas, parte en la que yo centrare mi análisis para el trabajo, partiendo de una columna vertical que sé que funciona según mi experiencia profesional.



Fig.3.3.7

También las hay que en las que, en lugar de moverse la pieza, se mueve la herramienta en una estructura similar a la de un puente grúa, que es en la que yo normalmente trabajo y he basado mi experiencia.



Fig. 3.3.8

4. PROCESOS EN LA CREACIÓN DE LA CALDERERÍA

4.1. CALDERERÍA INDUSTRIAL

Es una especialidad profesional de la fabricación, que tiene como función principal la construcción de estructuras metálicas, como pueden ser depósitos aptos para el almacenaje y transporte de sólidos, líquidos o gases, todo tipo de construcciones ya sean navales u otras acabadas o pre-acabadas, entendiéndose por estas las que necesitan más procesos posteriores para completar la función para la cual fueron pensadas.

El material más común, con el que se trabaja, es el acero laminado y vigas y perfiles en diferentes aleaciones, formas y espesores, ejemplo de ello pueden ser:

- La torre Eiffel.
- El puente colgante de Vizcaya.
- La estructura que sustenta el museo del Guggenheim de Bilbao.
- El taller o industria calderera es común encontrar la siguiente maquinaria:
 - Cizallas para cortar la chapa.
 - Prensas de estampar y troquelar chapa.
 - Máquinas de rodillos para doblar y conformar la chapa.
 - Remachadoras.
 - Máquinas de soldar, bien sea de corriente continua o alterna y manuales o automáticas.
 - Sopletes de corte (acetileno o propano y oxígeno).

Algunos pueden tener, para hacerse los despieces y posteriormente los cortes, máquinas de corte por láser u oxicorte dependiendo del espesor.

Y algún pequeño centro de mecanizado en el que hacer pequeños mecanizados en piezas para posteriormente ser soldadas en la pieza principal.

Cuando la estructura a soldar a de trabajar a altas presiones, la calidad del metal que las componen y las soldaduras que lleve durante su construcción, se someterán a diversas pruebas, las más comunes son mediante ultrasonidos o rayos X.

La cualificación de los técnicos soldadores ha de ser alta para asegurar la calidad necesaria en este tipo de productos, es por ello, que han de estar homologados por diferentes organismos de control de calidad.

Dentro de la rama del metal, es la más completa ya que abarca todos los tipos de soldadura, corte de metales, conformado, plegado, etc....

Es muy importante la interpretación de los planos que se vayan a construir ya que su precisión y cuidado a la hora de realizar la pieza, variará dependiendo de la aplicación.



Fig. 4.2.1

4.2.SOLDADURA

Consiste en la unión de dos o más piezas normalmente metálicas, aunque también se pueden soldar termoplásticos fusionándolas mediante la fundición de las mismas y en algunos casos, utilizando un material de aporte en el enfriamiento, se convierte en una unión fija a la que se la denomina cordón.

Existen varios sistemas de soldadura, uno de ellos, en los que no se utiliza material de aporte y se realiza mediante la presión y calor y otros sistemas en los que se utiliza un material de aporte el cual implica su derretimiento de material de un bajo punto de fusión entre piezas de trabajo para formar un enlace entre ellos, sin fundir las piezas de trabajo.

Existen diferente fuente de energía para la soldadura como pueden ser una llama de gas, un láser, un rayo de electrones o procesos de fricción o ultrasonidos.

La energía normalmente para formar la unión entre piezas proviene normalmente de un arco eléctrico.



Fig. 4.2.2

4.2.1. TIPOS DE SOLDADURAS

Existen varios tipos de soldadura, pero se distinguirían principalmente cinco tipos básicos, serían la junta de regazo, la junta de esquina, la junta de borde, la junta de T y dentro de ellas habría variaciones como la junta en doble V, en la cual cada una de las partes del material que se van a unir son preparadas afilándose. Dependiendo del proceso usado y del grosor del material, muchas piezas pueden ser soldadas en juntas de regazo.

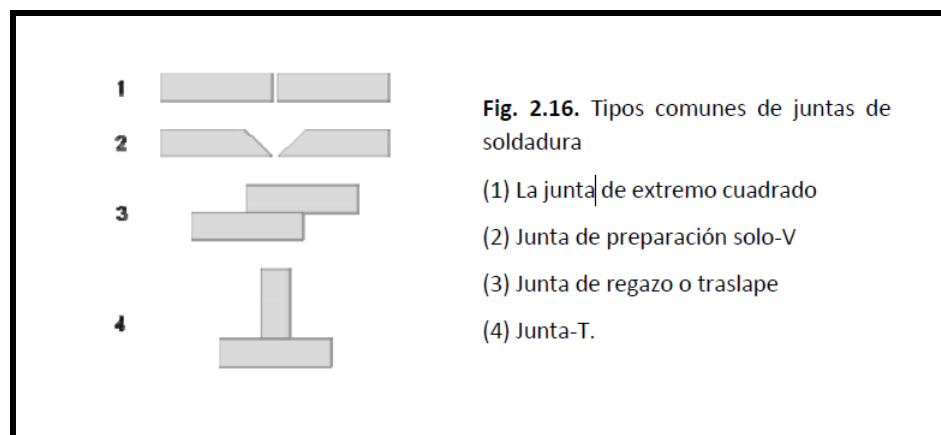


Fig.4.2.1.1

Tras el soldado, pueden ser identificadas tres regiones en el área de soldadura. La soldadura llamada zona de fusión, (en la que se encuentra el material de relleno), su propiedad depende del comportamiento del material y su compatibilidad con los materiales base. Esta está rodeada por la zona afectada por el calor y, por último, la zona del metal en la que se encuentran principalmente las tensiones residuales.

En España todas las especificaciones respecto a la soldadura se encuentran en las normas UNE-14XXX.

4.2.2. SOLDADURA MANUAL POR ARCO

Su principal característica consiste en el revestimiento de sus electrodos, lo que produce la soldadura es el arco eléctrico que se produce entre la pieza y el electrodo metálico recubierto. Con el calor del arco el extremo quema el recubrimiento, de este modo se crea la atmosfera correcta para que se produzca la transferencia de metal fundido desde el núcleo del electrodo hasta el baño de fusión en el material base.

Estas gotas de metal fundido caen recubiertas de escoria fundida procedente de la fusión del recubrimiento del arco. La escoria flota en la superficie y forma, por encima del cordón de soldadura, una capa protectora del metal fundido.

Al ser los electrodos los que aportan el material sufren un desgaste y tienen que ser reemplazados continuamente.

Su composición consta de dos partes:

El alma que es el alambre, se comercializa en rollos en la que el fabricante decapa y trefila el material para aumentar su pureza y reducir el diámetro.

El Revestimiento el cual puede ser de una gran variedad de materiales, los cuales los fabricantes guardan en secreto, según lo que quieran conseguir.

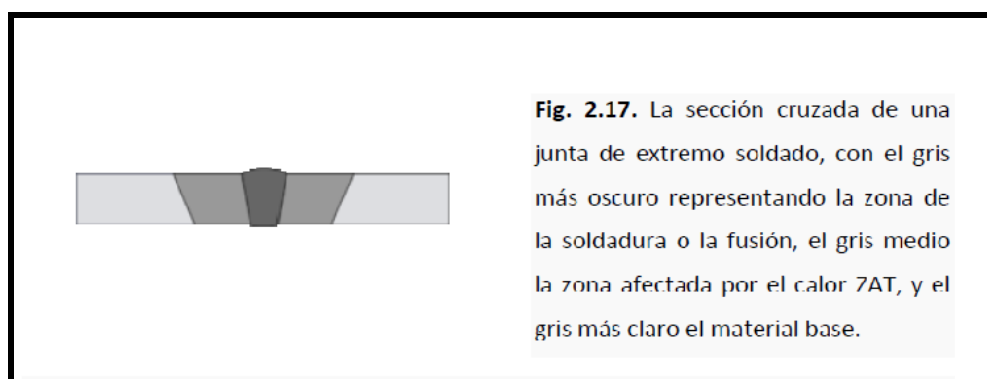


Fig. 4.2.2.1

La soldadura podrá ser bajo corriente continua o bajo corriente alterna en la que, el principal factor, será el diámetro del electrodo y el tamaño del mismo.

El factor principal es la simplicidad y el bajo precio, lo que la hace especialmente eficaz para trabajos de reparación, construcción y fabricación de estructuras.

El inconveniente, podría ser, que el soldador tiene que interrumpir el trabajo a intervalos regulares de tiempo y limpiar la zona de soldadura en el punto de inicio.

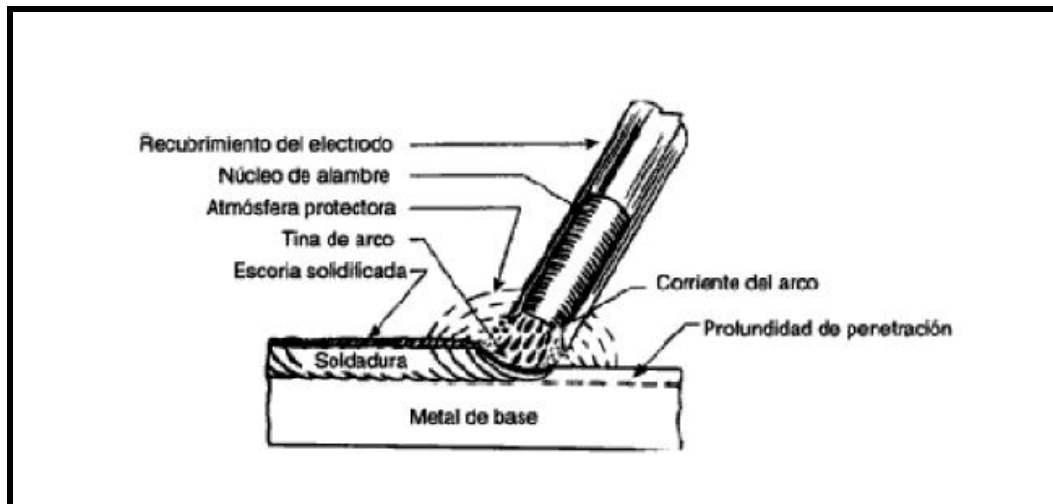


Fig. 4.2.2.2

4.2.3. SOLDADURA MIG-MAG

Su nombre viene del inglés, por su traducción, MIG (metal inert gas) y MAG (metal active gas) las cuales son soldaduras por electrodo sumergido. El electrodo es alimentado por un cordón de soldadura y protegido por un gas para garantizar una unión limpia y en buenas condiciones.

En la soldadura MIG el cordón de soldadura estaría protegido por un gas inerte que no interviene en la reacción y los que se utilizarían normalmente serían el argón y el helio o una mezcla de ambos.

En la soldadura MAG se utiliza un gas que participa de forma activa en la reacción de la soldadura y su influencia puede ser oxidante o reductora, ya que se utilizan el dióxido de carbono y el argón mezclado con oxígeno. Solo se puede utilizar con metal y debido al dióxido de carbono la soldadura resulta muy porosa lo que se ha de tener en cuenta.

Entre sus virtudes cabe destacar su elevada productividad y la facilidad de automatización lo que hace que sea utilizado con gran frecuencia en la industria automovilística.

La principal virtud es la versatilidad, lo que le permitiría soldar, aceros de baja aleación, inoxidable, aluminio o cobre, además se pueden soldar espesores desde 0.5mm y en todas las posiciones.

La protección con gas garantiza un cordón de soldadura continuo, uniforme y libre de impurezas y escoria.

Como contra, sería la utilización de un gas en el aporte al electrodo lo que eleva las posibilidades de fallo del aparato y un elevado coste.

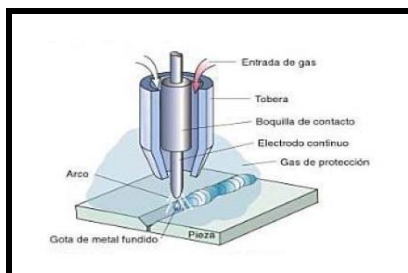


Fig. 4.2.3.1

4.3. ALIVIO DE TENSIONES RESIDUALES

4.3.1. TENSIÓN RESIDUAL

Se llama tensión residual a aquella que queda o permanece en el material en ausencia de cargas externas.

Dicha tensión ha podido ser originada por diversos factores como pueden ser los diversos procesos a los que se ha sometido la pieza en su construcción, entre ellos estaría la utilización, por ejemplo, de perfiles laminados en frío, este proceso, de conformado de material, genera tensiones residuales debido a los elevados esfuerzos a los que está sometida en su conformado, otro ejemplo sería, el proceso de soldadura que utilizamos para unir las distintas partes de la estructura metálica, ya que, en el proceso se eleva mucho la temperatura para fundir tanto el material de aporte, como el material de la estructura en su unión y su enfriamiento a distintas velocidades de la unión produce dichas tensiones.

El principal problema es que desconocemos su valor y por tanto su comportamiento cuando por ejemplo queremos conseguir una gran precisión en los mecanizados posteriores de la pieza para una determinada aplicación, este desconocimiento hace que podamos pensar, que hemos conseguido la precisión buscada tras un proceso de mecanizado, pero que, luego, al soltar la pieza dichas tolerancias tan precisas, se pierdan, lo que implicaría que la pieza no pueda ser utilizada en la aplicación que teníamos en mente, con la consiguiente pérdida de dinero que implicaría los distintos procesos a los que se habría sometido la estructura.

4.3.1.1. TÉCNICAS PARA ALIVIO DE TENSIONES RESIDUALES.

Existen distintas técnicas para el alivio de tensiones en función de las dimensiones, el costo y el tiempo que requieren la aplicación de las mismas y la forma de aplicación:

- **Métodos mecánicos**

Los métodos mecánicos consisten principalmente en la aplicación de una carga de compresión sobre la superficie para la eliminación de las tensiones residuales de tracción. La aplicación de estos métodos hace que se incremente la vida a fatiga de la estructura, retrasando la iniciación las grietas.

Entre estos métodos los más utilizados a nivel industrial sería, el *martilleado*, en el que normalmente mediante un martillo neumático de bola se ejerce presión sobre la superficie y el *granallado*, que consiste en chorrear la superficie de la soldadura con pequeños proyectiles de acero a gran velocidad, lo que induce a tensiones residuales de compresión, la principal ventaja es que cubre grandes áreas a un bajo coste, aunque en grandes estructuras no está demostrada su funcionalidad.

- **No mecánicos y por vibraciones;**

Entre los tratamientos no mecánicos se encontraría el *tratamiento térmico* en el cual la estructura del acero es modificada mediante ciclos térmicos irreversibles, el objetivo de los mismos es el de mejorar las propiedades y características de los aceros y consisten en calentar a una determinada temperatura, (normalmente la austenita del mismo), mantener un determinado tiempo y después enfriarlo a una velocidad en función de las características del acero que queramos conseguir.

Los métodos de alivio de tensiones se podrían dividir en dos los *tratamientos completos en hornos* y los *tratamientos parciales*.

Tratamientos en horno completo, la pieza es introducida totalmente en el horno en el cual es necesario controlar la temperatura y flujo de calor de manera precisa, para evitar el problema de la convección y así conseguir que la temperatura se quede en la parte superior del horno.

Calentamiento por resistencia eléctrica, en el cual se realiza el calentamiento empleando elementos cerámicos, que recubren el alambre conductor que a su vez recubren la pieza sobre la cual se realiza el tratamiento térmico.

Calentamiento mediante energía radiante, la radiación se realiza mediante la transmisión de la energía desde la fuente a la pieza. Las ventajas de este sistema serían el bajo costo del combustible, el control y la facilidad de aplicación,

Calentamiento con llama, es un método que se suele emplear en campo y requiere el control del consumo, del ajuste de la llama en distancia y potencia.

Calentamiento por inducción con corriente alterna, se aplica mediante bobinas enrolladas sobre la pieza en las cuales se aplica un campo magnético que calienta la pieza.

El alivio de las tensiones se realiza calentando la pieza o unión soldada a una temperatura y durante un tiempo determinado.

Alivio de tensiones por vibración es un método relativamente simple que induce vibraciones armónicas o sub-armónicas con gran amplitud en el material. El equipo es bastante simple y constaría de una fuente eléctrica con una unidad de control, un motor eléctrico que gira excéntrica (inductor de fuerza) y un acelerómetro (transductor) y un acelerómetro (transductor) que el flujo de frecuencia a través de la pieza de trabajo.

Se basa en que los materiales tienen una frecuencia armónica. El metal vibrará a esta frecuencia como cuando se expone a una especie de martilleo, lo que produce que toda la energía interior se disipe a través de la fricción interna.

4.4. PROCESO DE LIMPIEZA DE PIEZA MEDIANTE GRANALLADO

La limpieza mediante granallado consiste en el lanzamiento de un sin número de partículas abrasivas lanzadas a muy alta velocidad contra el objeto.

En un principio los metales abrasivos producidos en hierro fundido, coquillas, que, a pesar de ser muy superiores a las arenas, se rompían rápidamente, provocando en relativamente poco tiempo. Posteriormente fueron desarrolladas las granallas de hierro fundido maleable y acero con propiedades muy superiores a las de hierro fundido coquillas. Las granallas de acero se emplean actualmente en un sin número de aplicaciones tales como:

- Limpieza de piezas después de la fundición.
- Decapado mecánico de metales.
- Retirada de rebabas de piezas metálicas plásticos y gomas
- Empañado de superficies plásticas, vidrios, metales, cerámicas.
- “shot peening” de metales.



Fig. 4.4.1 y Fig. 4.4.2

4.5. PROCESO DE IMPRIMACIÓN Y ACABADO DE PIEZA

La *imprimación* consiste en la aplicación de pinturas específicas para la protección del material y así evitar la corrosión sobre la superficie de la estructura y dejar la superficie preparada para la aplicación de la pintura definitiva según las especificaciones del cliente. Los cuales pueden llevar procesos de roscas, pulido de superficies mecanizadas, aplicaciones de grasa industrial para la protección de superficies etc...



Fig. 4.5.1. y Fig. 4.5.2

5. PROGRAMAS DE CÁLCULO UTILIZADOS

5.1. CATIA

Es el programa que utilizaré para diseñar las distintas soluciones y para la realización de planos.

CATIA (Computer Aided Three Dimensional Interactive Application) es un programa de CAD/CAM/CAE para diseñar, producir y calcular piezas. Se trata de uno del software más potentes y demandados del mundo industrial utilizado en la industria aeronáutica para realizar superficies complejas, así como en la industria del automóvil para el desarrollo de distintos elementos.

Dicho programa fue creado por Dassault Systems y está desarrollado para proporcionar apoyo desde la concepción del diseño asistido por ordenador (CAD) hasta la producción (CAM) y el análisis de productos (CAE).

CATIA tiene varios módulos con los que trabajar dentro del diseño industrial como son:

- **Mechanical Design** (Diseño mecánico). Proporciona todas las herramientas para la creación de piezas, análisis ángulos de salida y desmoldes, análisis de curvaturas propiedades físicas, etc. Este módulo está directamente relacionado con la parte de Assembly (ensamblajes) ya que muchas veces las piezas realizadas tienen que ir dentro de un conjunto más grande de piezas. También incorpora la generación de plano o Drafting, el uso de esta herramienta es automática, fácil e intuitiva. Mantiene las cotas del diseño 3D, si se ha hecho correctamente y además se generan vistas de forma automática, se pueden poner tolerancias y modificar las cotas. Existe otras herramientas llamadas Wireframe and Surface Design (superficies y alambres) con la que podemos crear elementos durante los diseños preliminares mediante operaciones con superficies. Todas las operaciones con superficies tienen que estar orientadas a obtener poli-

superficies cerradas.

- **Shape** (Diseño de formas y estilo). Se trata de la parte más fuerte de CATIA. Con este tipo de superficies se pueden hacer modificaciones en los perfiles en cualquier momento, estas modificaciones se propagan a todo el diseño. Dispone de herramientas de análisis de superficies, inflexión de curvas, curvaturas, distancias, etc. El programa controla todos los parámetros que unen las superficies como la tensión en las superficies de unión, la continuidad de estas, factores de suavizado, etc.

- **Analysis & simulación** (Análisis y simulación). Realiza análisis de esfuerzos y de vibración en conjuntos con el fin de generar diseños de alta calidad en poco tiempo. No se trata de un programa basado en el cálculo de elementos finitos ya que no tiene mucha precisión, aunque puede simplificar los análisis.

- **NC Manufacturing (Mecanizado)**. CATIA dispone de varios módulos de mecanizado, que generan el programa para nuestra máquina de control numérico para escoger en nuestra base de datos.

En mi proyecto el uso de CATIA estará centrado en el primer módulo denominado Mechanical Design, con el que se generarán las geometrías de las piezas que deseamos diseñar mediante los módulos de Part Design (creación de sólidos), Sketcher (generación de perfiles 2D) y Assembly (realización de ensamblajes). Estos módulos son los que utilizaré en el proyecto para diseñar todas las piezas que conforman el eje de un camión y posteriormente se realizará el ensamblaje de todas las piezas.

- **Part Design**: Se trata de un módulo de CATIA orientado al modelado de sólidos, con el que generaremos la geometría de las piezas utilizando las herramientas necesarias. En él está incluido el módulo Sketcher. Este módulo tiene la extensión CATPart.

- **Sketcher**: Es la herramienta de CATIA para la creación de perfiles 2D. Este módulo será con el que crearemos los perfiles básicos de nuestras piezas para después utilizar las herramientas del Part Design. Dichos perfiles deberán tener una continuidad de elementos geométricos (líneas, puntos y curvas) y unas restricciones para que la geometría de las piezas sea correcta.
- **Assembly**: Se trata de un módulo que sirve para ensamblar piezas. Pero además podemos crear unos ensamblajes, los cuales se podrán introducir en un conjunto mayor. Utilizaremos esta herramienta para montar las piezas que conforman las distintas partes del eje vertical en sus distintas opciones, para ello usaremos las herramientas del módulo para crear restricciones que conecten las piezas y las coloquen en su sitio correcto. La extensión del Assembly será CATProduct.



Fig. 5.1.1.

5.2. NX 9 NASTRAM

Es el programa que utilizaré para el cálculo de la estructura ya sea, por un lado, para el cálculo de la rigidez del eje vertical, como para el cálculo de los diferentes modos de vibración.

Es un programa de análisis de elementos finitos que fue desarrollado originalmente para la Nasa a finales de 1960, con la financiación de Estados Unidos para la industria aeroespacial. Fue diseñado para ayudar al desarrollo de vehículos espaciales más eficientes, como el transbordador espacial. Al público fue lanzado en 1971 lo que sirvió para analizar el comportamiento de las estructuras elásticas de cualquier tamaño, forma o propósito. Se usa en diferentes ámbitos de la industria, ya sea en la aeronáutica, en la automoción o en la del ferrocarril o marítima para el cálculo de los diferentes elementos.

Nastram se puede utilizar bien sea en pequeñas estaciones de trabajo, como en superordenadores para el cálculo de estructura mucho más complejas.

Cada tipo de análisis disponible llama a una secuencia de solución, algunos de los códigos de secuencia de solución más comunes son:

- 101 - Lineal estática.
- 103 - Modal.
- 105 - Pandeo.
- 106 - No Lineal-estático.
- 107 - Complejo de valores propios directa.
- 108 - Respuesta de frecuencia directa.
- 109 - Respuesta Transitoria directa.
- 110 - Modal Complejo de valores propios.
- 111 - Respuesta de frecuencia modal.
- 112 - Modal respuesta transitoria.

- 129 - No lineal transitoria.
- 144 - Análisis Aero elástico
- 145 - Análisis Flutter.
- 146 - Análisis Dinámico Aero elástico.
- 153 - No lineal estático junto con la transferencia de calor.
- 159 - No lineal transitorias acoplado con transferencia de calor
- 187 - Diseño Método de Análisis Dinámico
- 200 - Diseño y Optimización Análisis de sensibilidad
- 400 - No lineal estático y dinámico (implícita).
- 600 - No lineal estático y dinámico (implícita
- 601 - Implícito no lineal (ADINA para NX Nastran)
- 700 - Explícita no lineal (LS Dyna más MSC.Dytran - parte de MSC.Nastran)
- 701 - Explícita no lineal (ADINA para NX Nastran).

SOFTWARE ASOCIADO

Nastran es, principalmente, un solucionador para el análisis de elementos. No tiene funcionalidad que permita gráficamente la construcción de un modelo o mallado, Sin embargo, varios proveedores de software, comercializan pre y pos procesadores diseñados para simplificar la construcción de un modelo de elementos finitos y analizar los posibles. Estas herramientas de software incluyen la funcionalidad para importar y simplificar la geometría CAD, como es en mi caso que utilizo el programa de CAD CATIA para la realización y simplificación de modelo, para que posteriormente, al utilizar NX las mallas con elementos finitos, salgan más simples en las cuales aplicar la cargas y restricciones.

Las herramientas permiten al usuario enviar un análisis a NASTRAN e importar los resultados y mostrarlos gráficamente. Además de las capacidades de pre y post-procesamiento, varios proveedores de NASTRAN han integrado capacidades avanzadas no lineales, en sus productos NASTRAM.



Fig.5.2.1

6. DATOS DE PARTIDA

6.1. FUERZAS EN PUENTA DE HERRAMIENTA

Las fuerzas en punta de herramienta son de 1000N en cada una de las direcciones X, Y, Z.

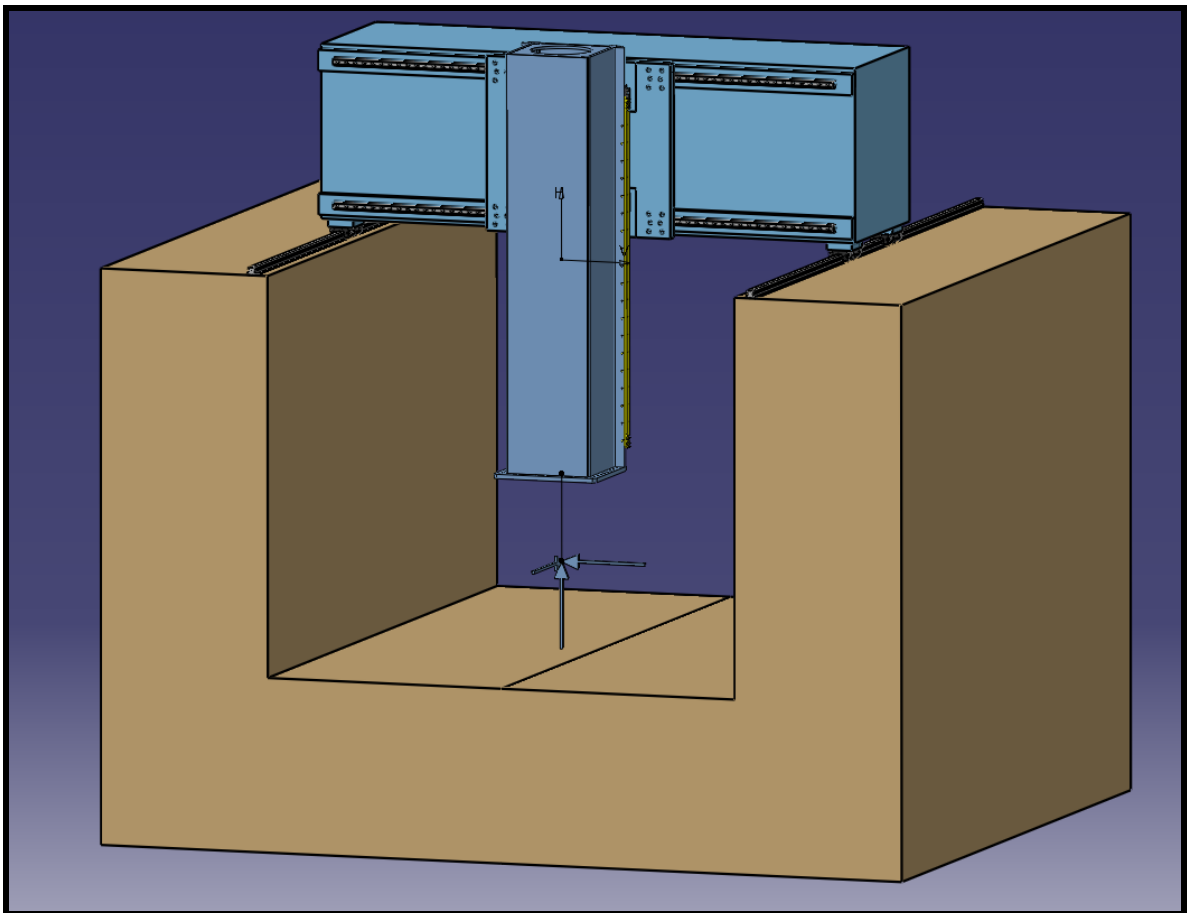


Fig. 6.1.1

6.2. PLAZOS

Los plazos normales para la fabricación de la calderería son entre 8 y 12 semanas dependiendo de:

- Las *dimensiones*, ya que influye en el tiempo dedicado a la soldadura y ensamblaje del eje vertical.
- Lo que les cueste hacer los *despieces* de las distintas partes del eje vertical a la empresa que va a realizar la calderería.
- El tiempo dedicado a la *subcontratación* para hacer acopio de las distintas piezas que componen el eje vertical, ya sea una empresa de corte por láser u oxicorte.
- Del trabajo que tenga la *propia empresa* para encajar este trabajo en su planificación.

7. DESCRIPCIÓN EJE VERTICAL CONVENCIONAL

Un eje vertical convencional suele tener forma de prisma rectangular en el cual se podrían diferenciar las siguientes partes principalmente:

- Llantas de acero que configuran la piel exterior.
- Llanta inferior para amarre del cabezal.
- Llanta superior para el amarre del cajón de acometidas.
- Llanta de cierre con agujeros rasgados para poder soldar la llanta a los nervios interiores y que se haga un conjunto más rígido.
- Tochos de acero que posterior mente son mecanizados para alojar tanto el guiado como las cremalleras.
- Nervios interiores para reforzar el eje.
- Todos los elementos en función de la aplicación tendrán más o menos dimensiones.

- Imagen para describir distintas partes mencionadas.

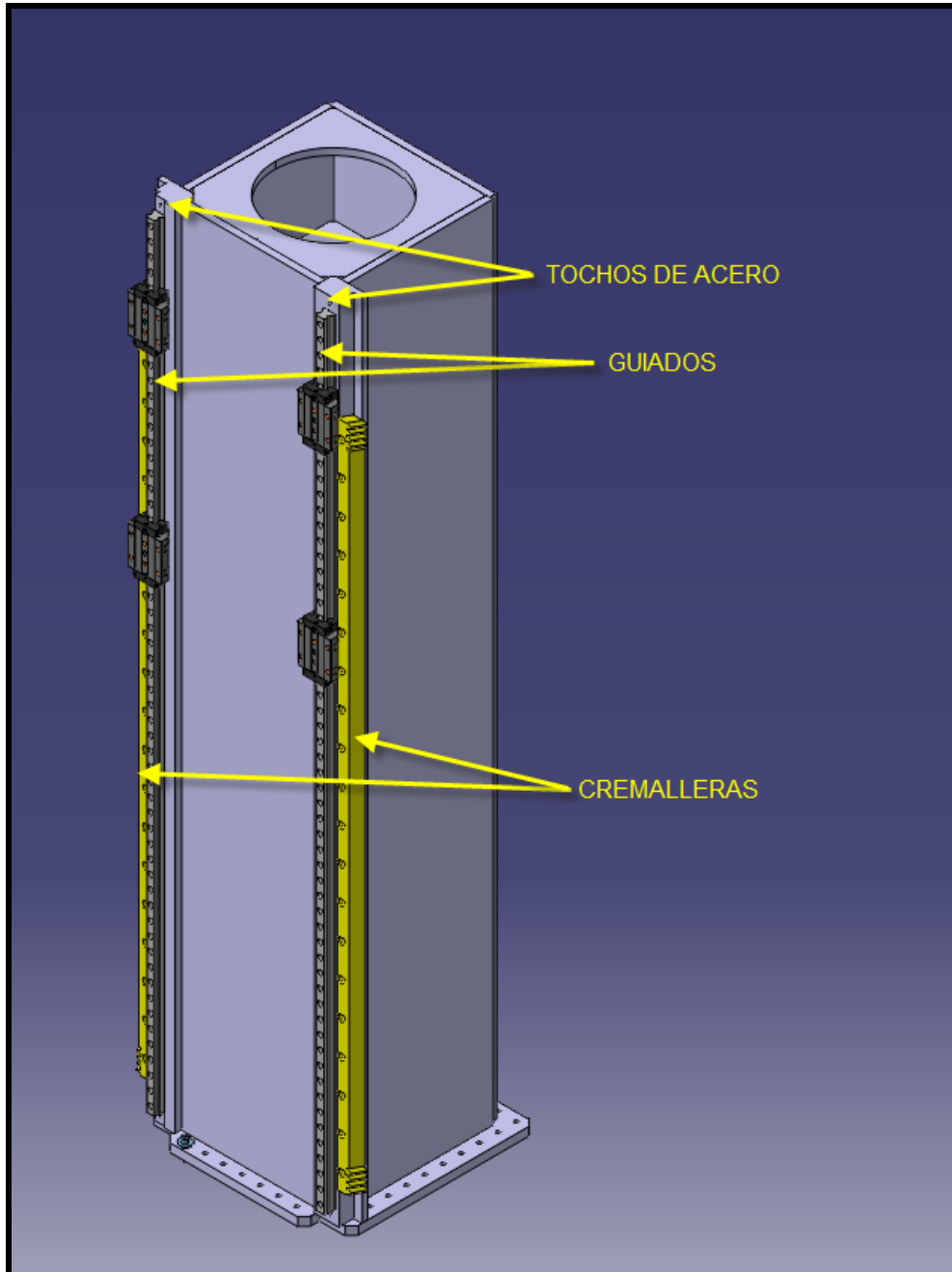


Fig. 7.1.1.

- Imagen para describir distintas partes mencionadas.

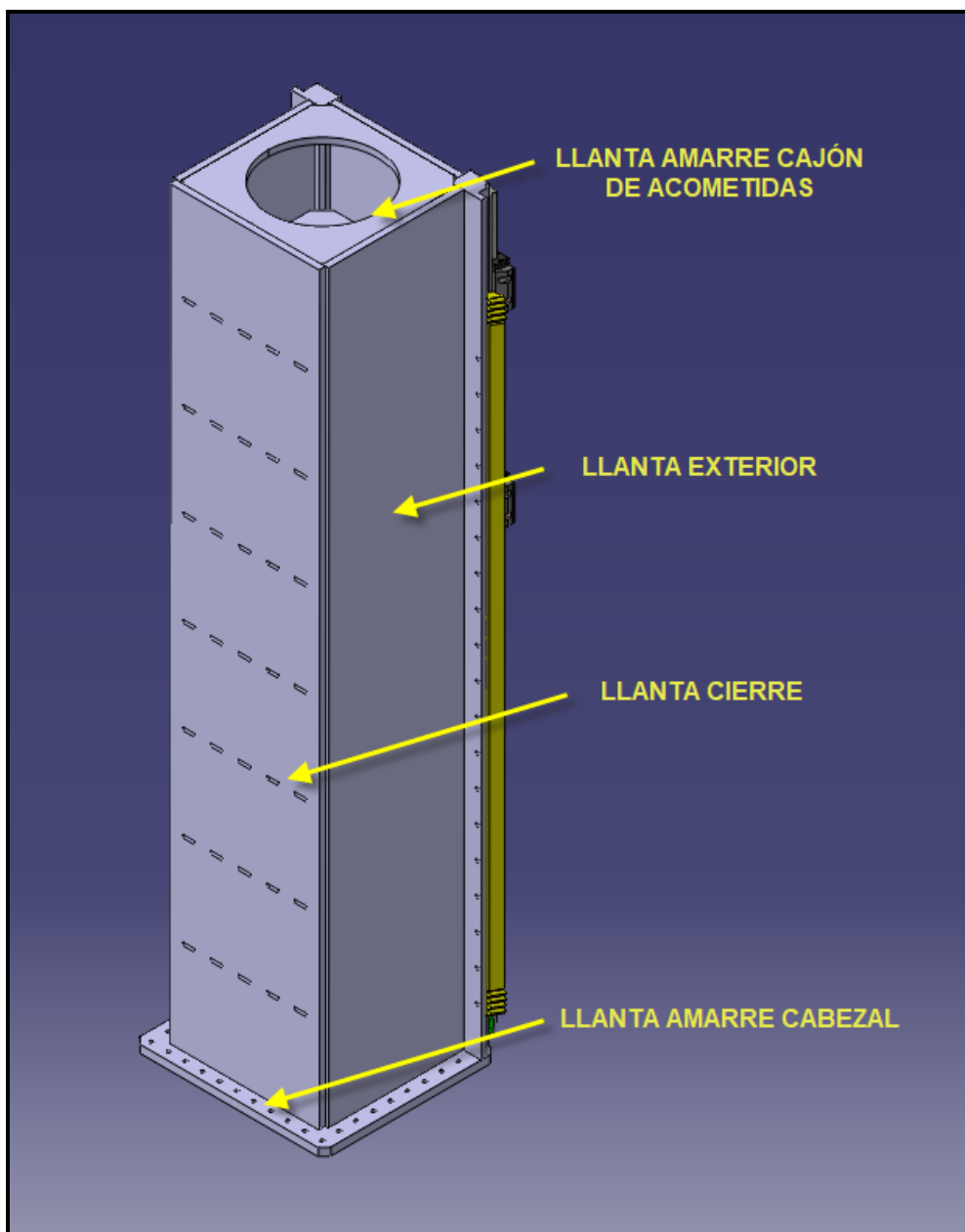


Fig 7.1.2

- Imagen para describir distintas partes mencionadas.

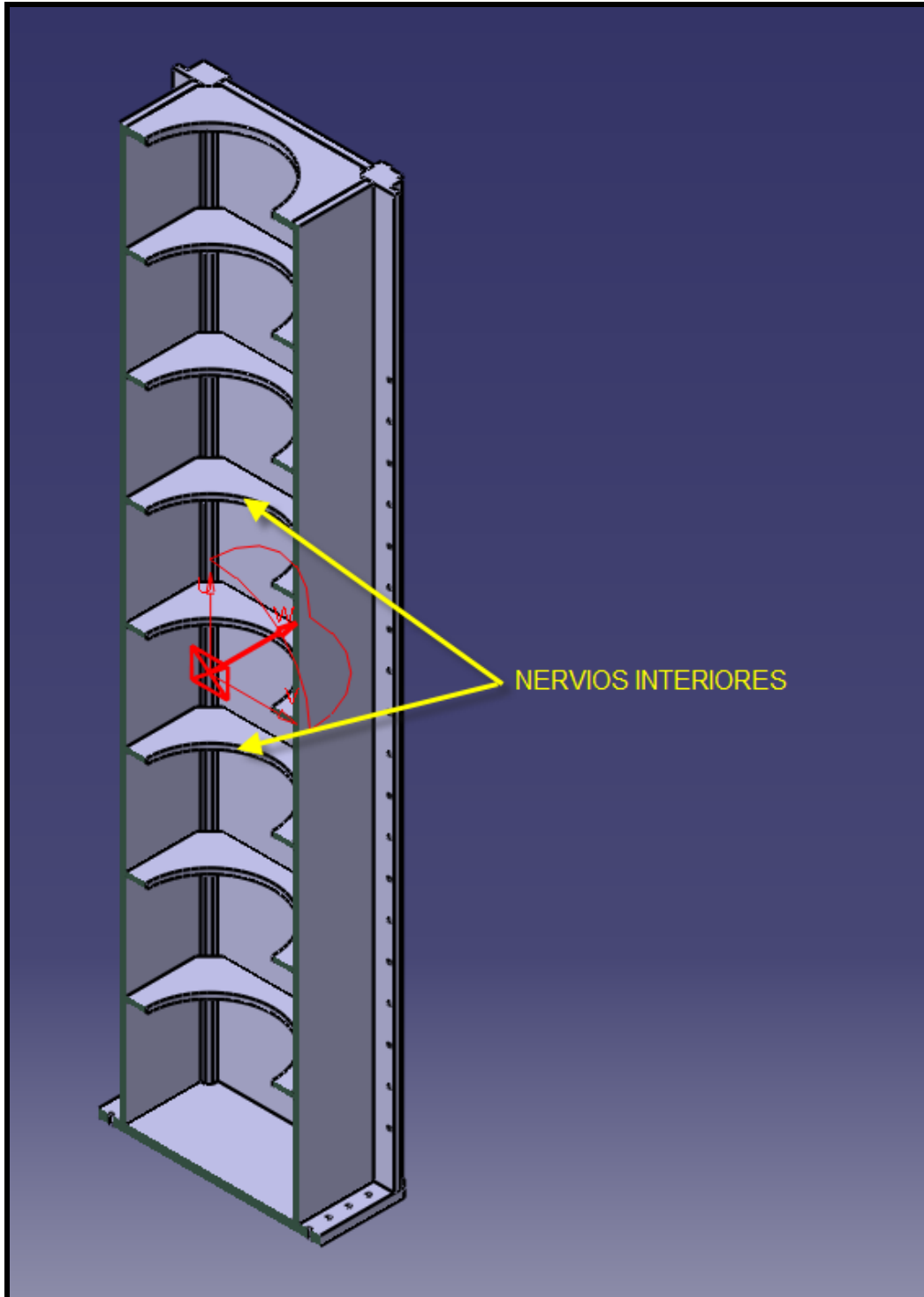


Fig. 7.1.3.

8. DESCRIPCIÓN DE POSIBLES SOLUCIONES

La solución sería tener almacenado un stock de las distintas partes que forman el eje vertical, (modulo intermedio, modulo superior y modulo inferior), de manera que, únicamente, se dedique tiempo a elegir la longitud necesaria que debe tener el eje vertical en función de la carrera que necesitemos de máquina, y hacer un simple ensamblado de las distintas partes.

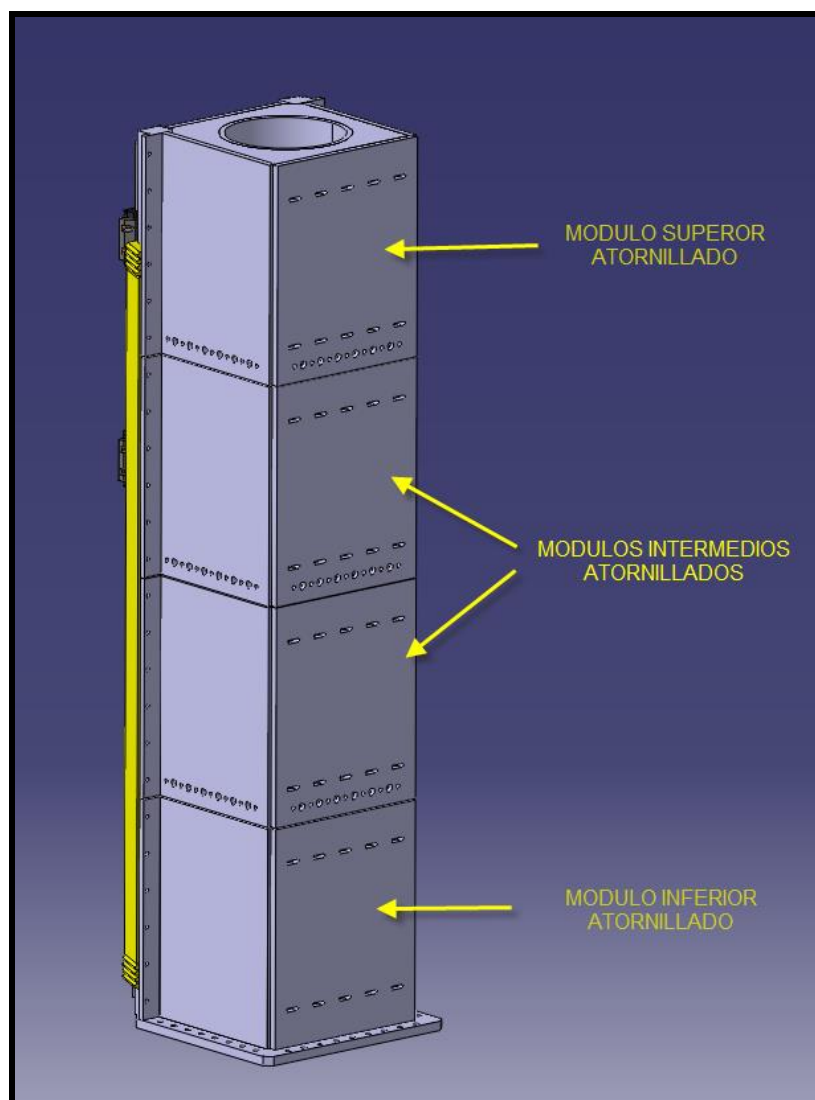


Fig. 8.1.1.

8.1. EJE VERTICAL MODULAR ARTORNILLADO

Estaría formado por tres tipos de módulos distintos la calderería:

- Modulo superior atornillado.
- Modulo intermedio atornillado.
- Modulo inferior atornillado.

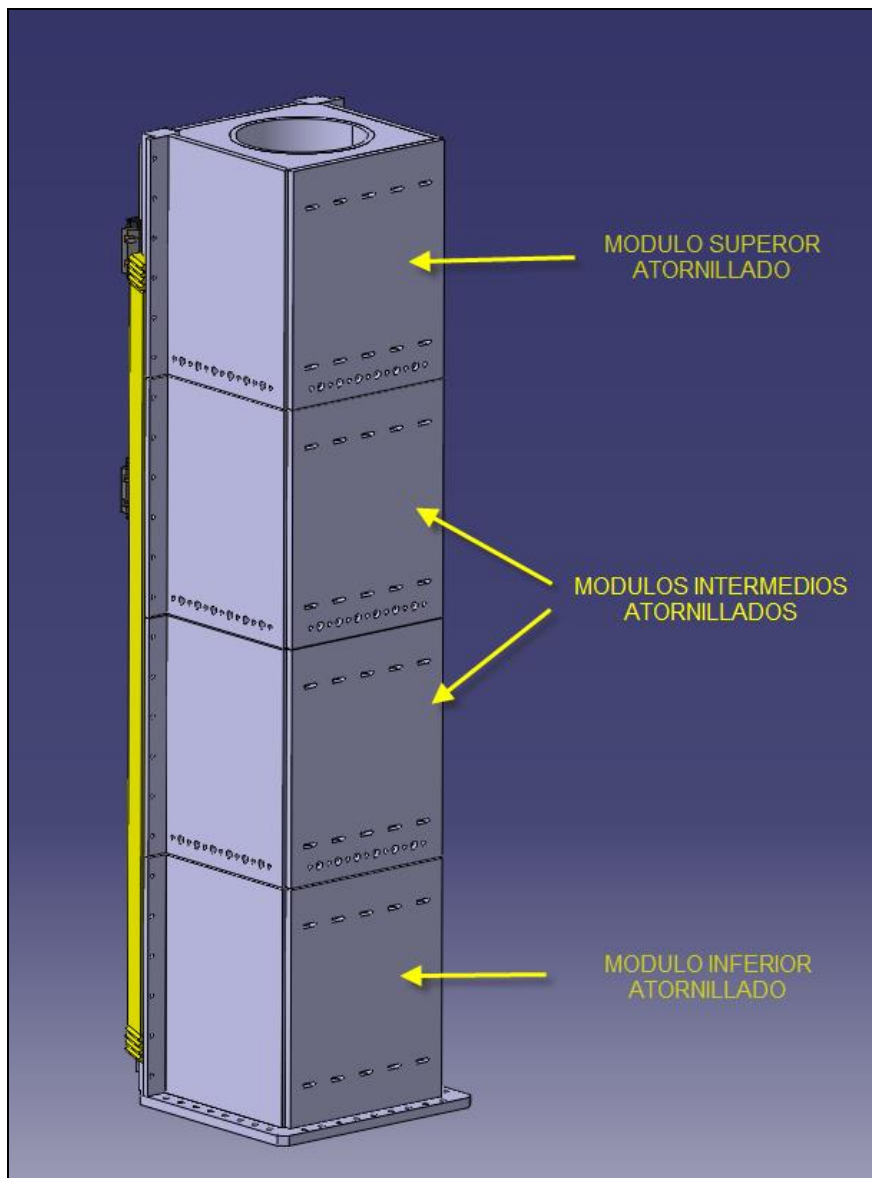


Fig. 8.1.2.

Descripción de los distintos módulos:

8.1.1. MÓDULO SUPERIOR ATORNILLADO

- Llantas de acero que configuran la piel exterior.
- Llanta superior para el amarre del cajón de acometidas.
- Llanta de cierre de ensamblaje con agujeros rasgados para poder soldar la llanta a los nervios interiores y que se haga un conjunto más rígido.
- Tochos de acero que posterior mente son mecanizados para alojar tanto el guiado como las cremalleras.
- Nervios interiores para reforzar el eje.
- Tubo interior para reforzar y mejorar el comportamiento de la estructura.
- Todos los elementos en función de la aplicación tendrán más o menos dimensiones.

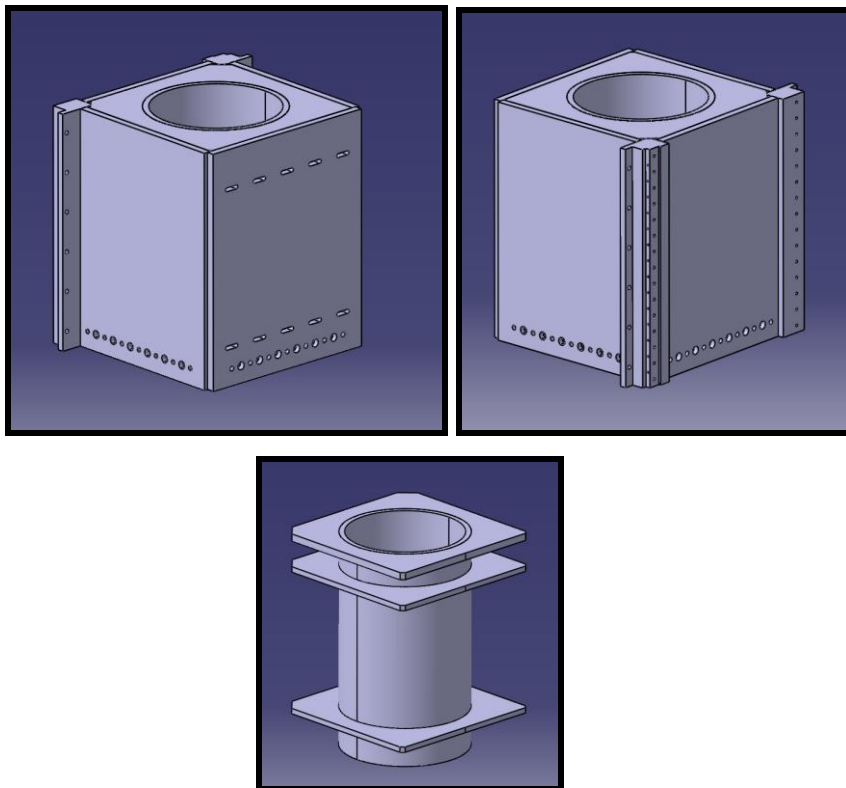


Fig.8.1.1.1 Fig 8.1.1.2 y Fig.8.1.1.3

8.1.2. MÓDULO INTERMEDIO ATORNILLADO

- Llantas de acero que configuran la piel exterior.
- Llantas en el perímetro con agujeros roscados para el amarre del módulo superior.
- Llanta de cierre de ensamblaje con agujeros rasgados para poder soldar la llanta a los nervios interiores y que se haga un conjunto más rígido.
- Tochos de acero que posterior mente son mecanizados para alojar tanto el guiado como las cremalleras.
- Nervios interiores para reforzar el eje.
- Tubo interior para reforzar y mejorar el comportamiento de la estructura.
- Todos los elementos en función de la aplicación tendrán más o menos dimensiones.

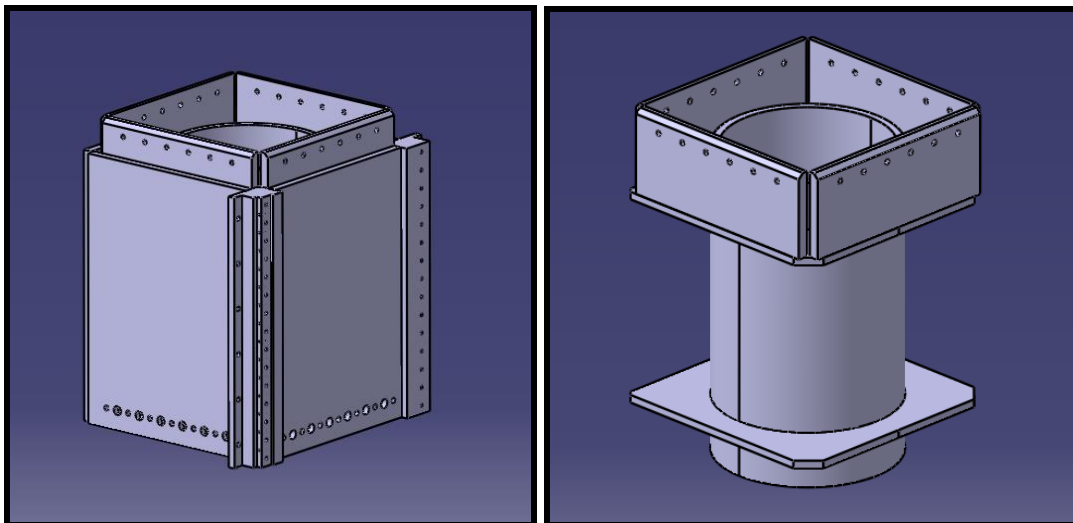


Fig.8.1.2.1. y Fig 8.1.2.2

8.1.3. MÓDULO INFERIOR ATORNILLADO

- Llantas de acero que configuran la piel exterior.
- Llantas en el perímetro con agujeros roscados para el amarre del módulo superior.
- Llanta de cierre de ensamblaje con agujeros rasgados para poder soldar la llanta a los nervios interiores y que se haga un conjunto más rígido.
- Llanta inferior para el amarre del cabezal de máquina.
- Tochos de acero que posteriormente son mecanizados para alojar tanto el guiado como las cremalleras.
- Nervios interiores para reforzar el eje.
- Tubo interior para reforzar y mejorar el comportamiento de la estructura.
- Todos los elementos en función de la aplicación tendrán más o menos dimensiones.

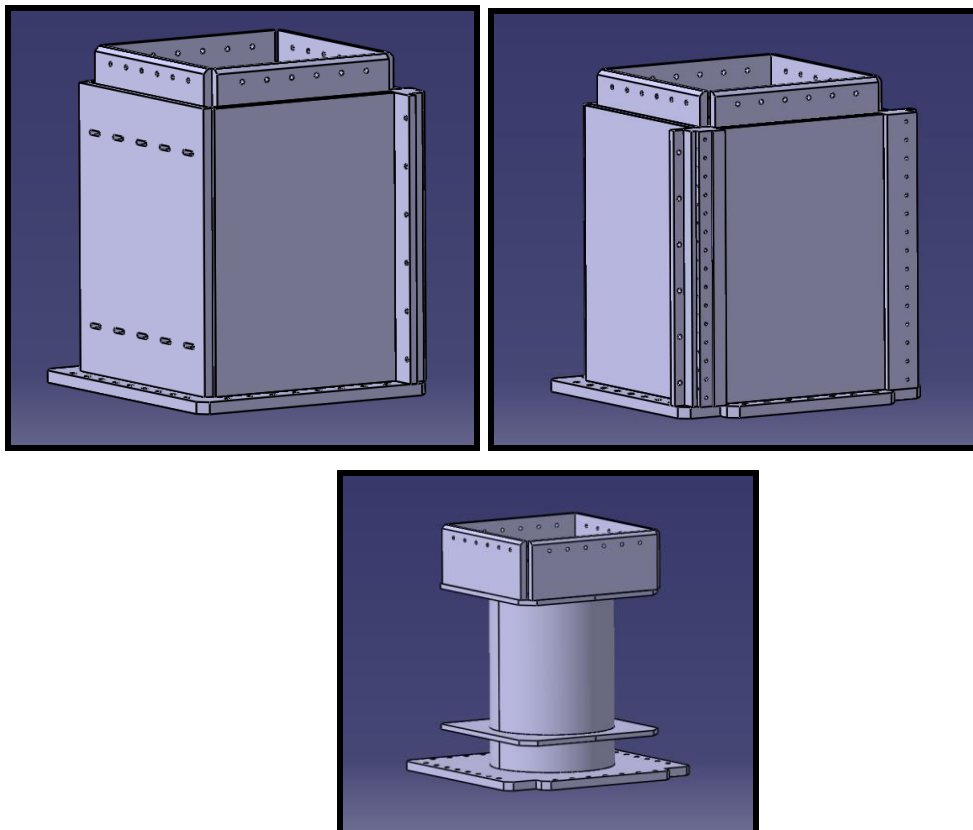


Fig.8.1.3.1, Fig.8.1.3.2 y Fig 8.1.3.3

8.1.4. UNIÓN DE LOS DISTINTOS MODULOS

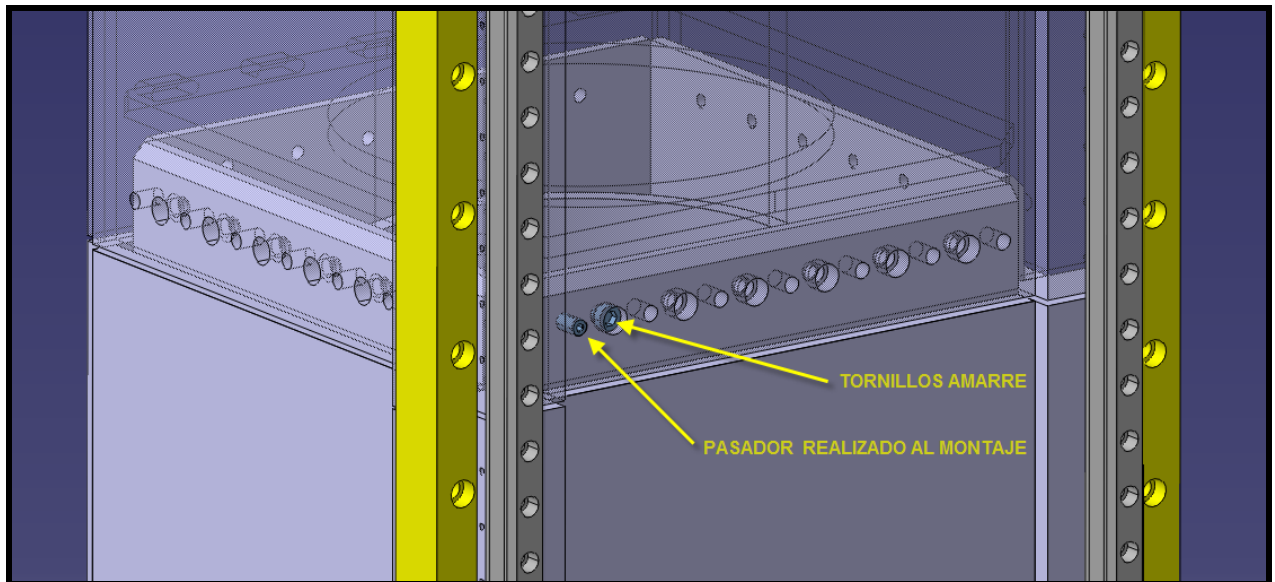


Fig.8.1.4.1

El ensamblaje de los distintos módulos se realizará:

- Atornillando las distintas partes primero.

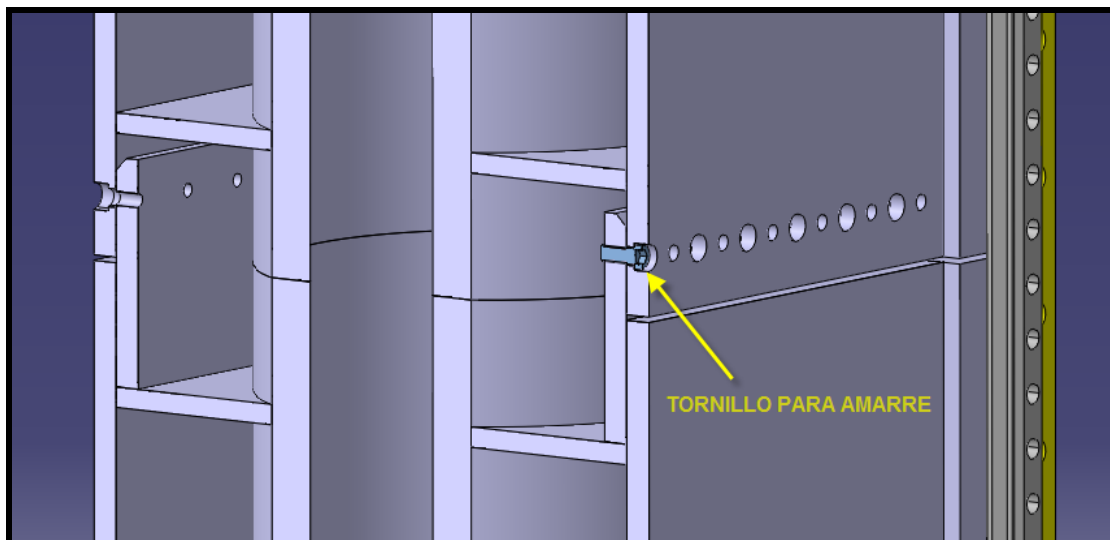


Fig. 8.1.4.2

- Realización de pasadores al montaje en la que, en una de las piezas, este pre-mecanizado el diámetro del pasador, prácticamente a su cota nominal y mediante un taladro magnético, se incorporara el pasador uniando las dos piezas.

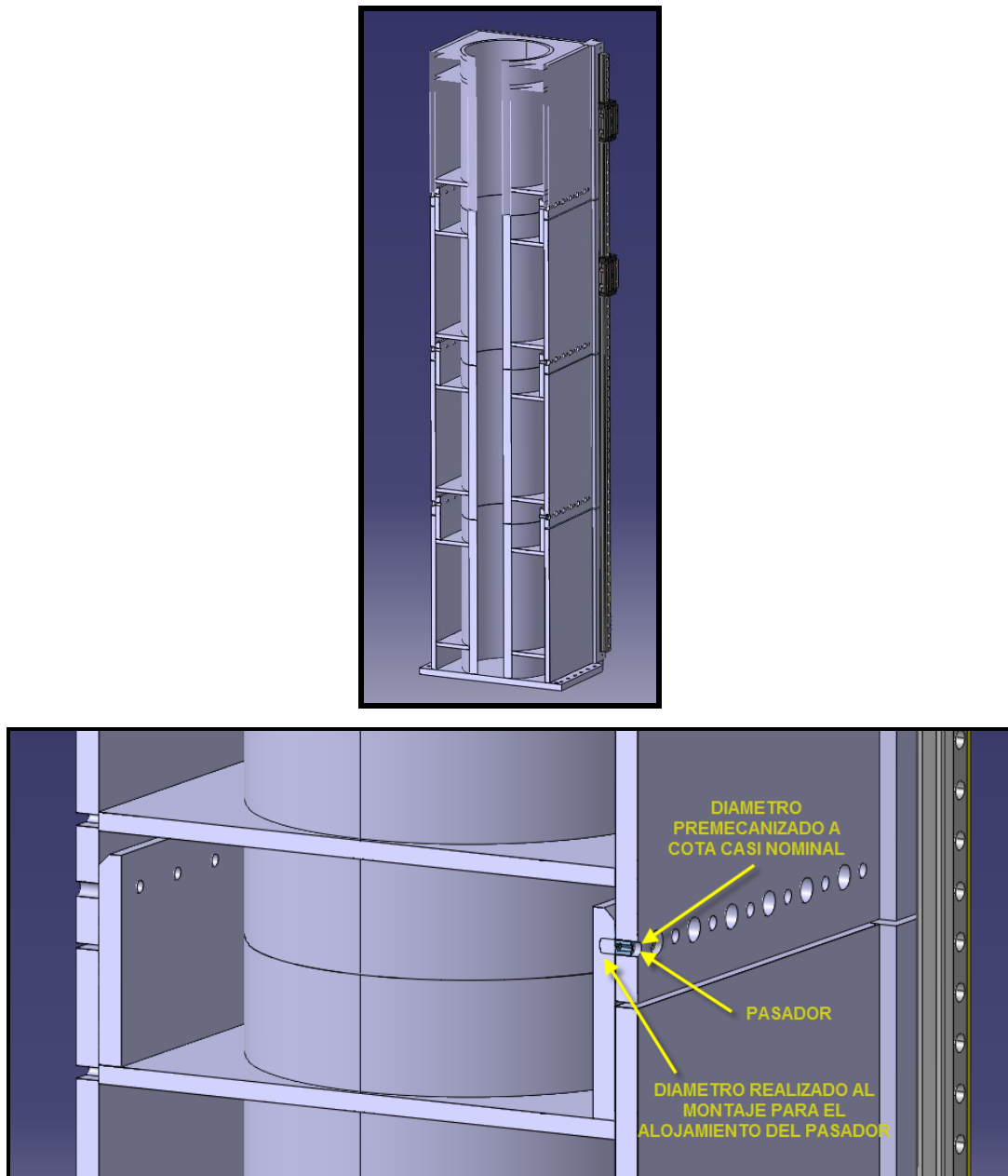


Fig. 8.1.4.3 y Fig. 8.1.4.4

8.1.5. VENTAJAS DEL USO DE SISTEMA MODULAR ATORNILLADO

- Al tener un *stock* de las distintas, partes se *reduce tiempo de creación* del nuevo eje vertical ya que únicamente hay que unir las distintas partes, (superior, intermedia/as e inferior), y unir las mediante tornillos y pasadores, para, posteriormente, mandarlas a mecanizar acorde a la aplicación, al ser siempre el mismo tipo de ensamblaje se reduciría el tiempo que dedicaría el operario a su montaje ya que estaría acostumbrado, *reduciendo así el costo* general de la creación de un nuevo eje.
- Al reducir el tiempo de creación de la pieza se puede *adaptar más fácil* a los plazos exigidos por la empresa que, por ejemplo, demanda una taladradora para una aplicación especial.
- Al hacer *siempre piezas iguales*, la empresa subcontratada para fabricar las distintas partes puede tener útiles preparados para fabricar las distintas caldererías costando algo más la primera vez, pero, a la larga, se produce una *reducción de costes* ya que los operarios estarían acostumbrados a fabricar el mismo tipo de piezas.

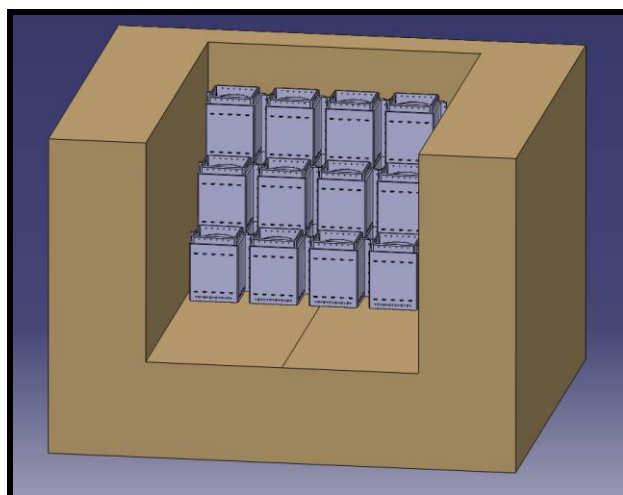


Fig.8.1.5.1

- Al estar formado por módulos, si aumentamos o disminuimos la carrera, bastaría con *quitar o añadir la cantidad necesaria de módulos intermedios* para conseguir la longitud de eje vertical necesaria.

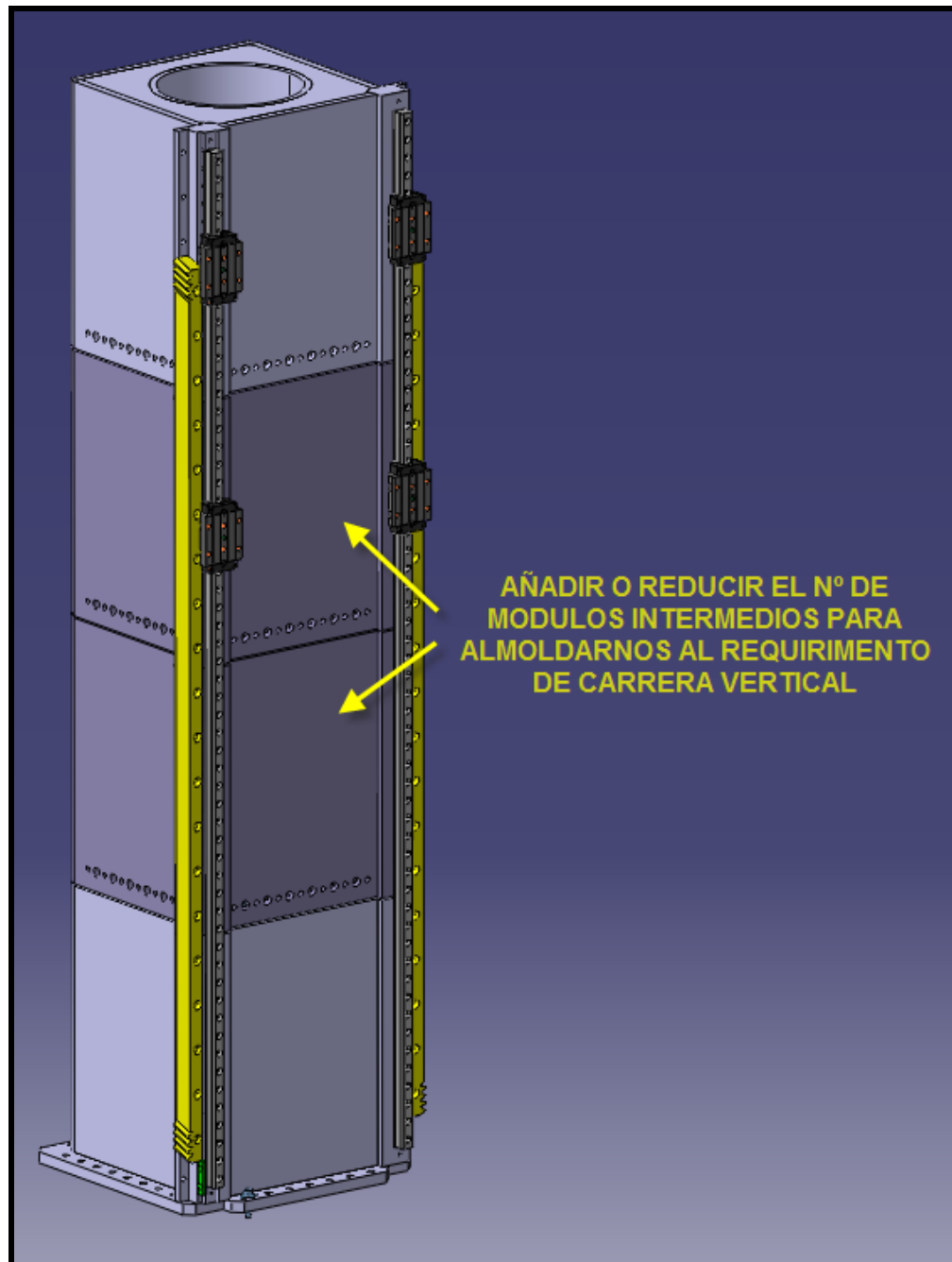


Fig.8.1.5.2

8.1.6. INCONVENIENTES DE SISTEMA MODULAR ATORNILLADO

- Si queremos añadir un nuevo módulo y mantener los anteriores, sería necesario utilizar muchas horas de montaje, y la posibilidad de alineación de los guiados para conseguir la misma precisión en la alineación. Si la precisión del sistema fuera muy alta, el costo aumentaría mucho, existiendo la posibilidad de que sería menos costoso el cambio de todos los módulos y mandarlos a mecanizar de manera conjunta.

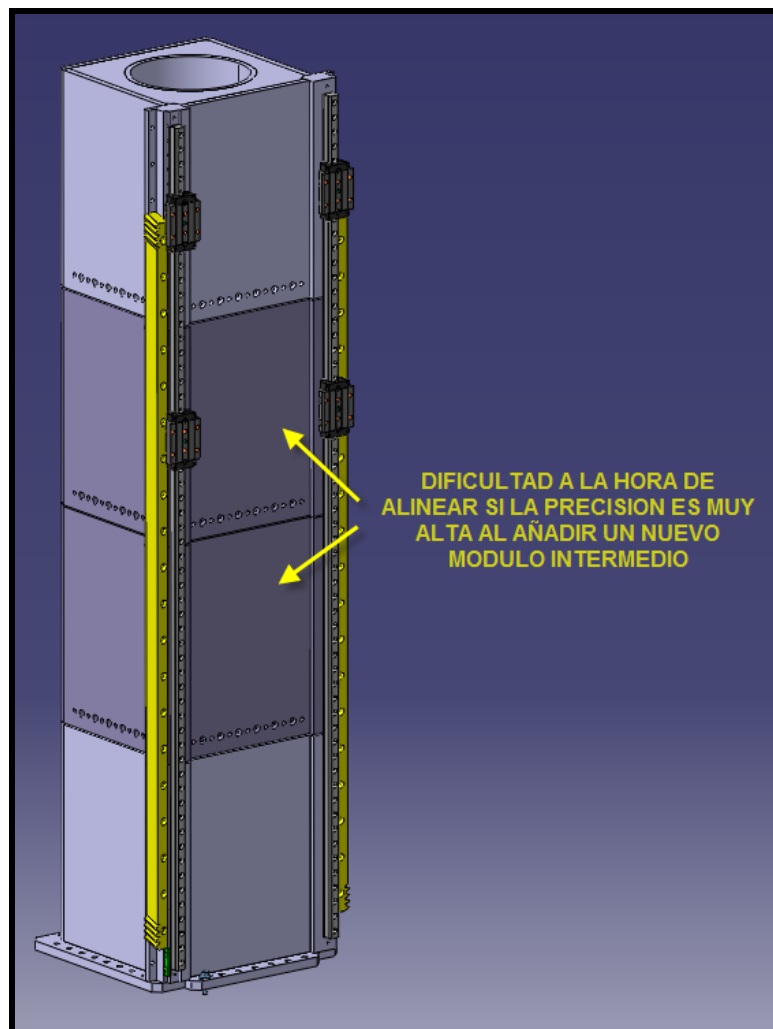


Fig.8.1.6.1

8.2. EJE VERTICAL MODULAR SOLDADO

Estaría formado por tres tipos de módulos distintos la calderería:

- Modulo superior soldado.
- Modulo intermedio soldado.
- Modulo inferior soldado.

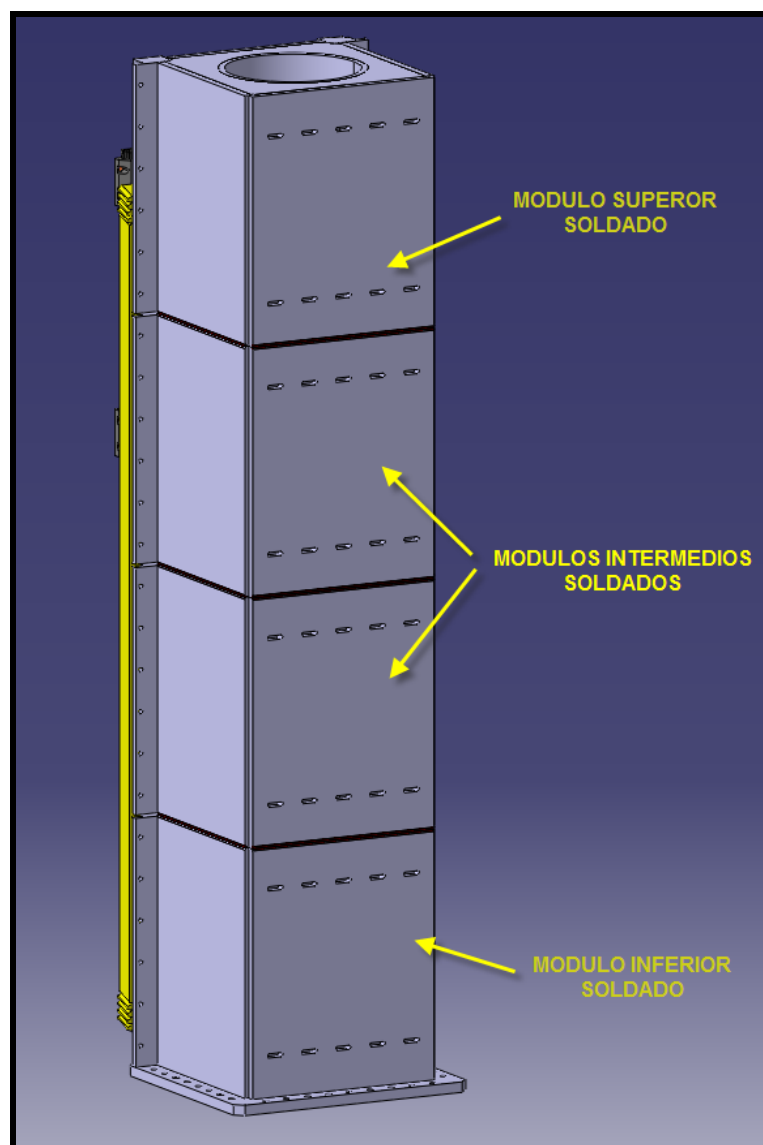


Fig.8.2.1

Descripción de los distintos módulos:

8.2.1. MÓDULO SUPERIOR SOLDADO

- Llantas de acero que configuran la piel exterior.
- Llanta superior para el amarre del cajón de acometidas.
- Llanta de cierre de ensamblaje con agujeros rasgados para poder soldar la llanta a los nervios interiores y que se haga un conjunto más rígido.
- Tochos de acero que posterior mente son mecanizados para alojar tanto el guiado como las cremalleras.
- Nervios interiores para reforzar el eje.
- Tubo interior para reforzar y mejorar el comportamiento de la estructura.
- Todos los elementos en función de la aplicación tendrán más o menos dimensiones.

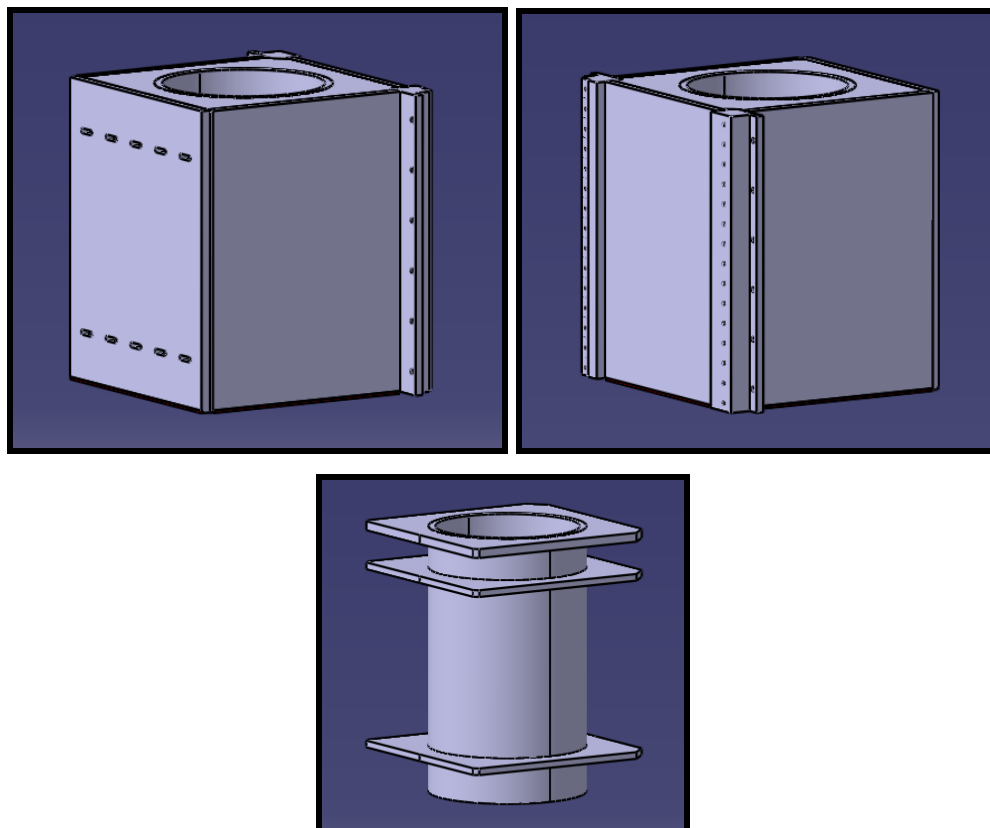


Fig.8.2.1.1. Fig 8.2.1.2 y Fig 8.2.1.3

8.2.2. MÓDULO INTERMEDIO SOLDADO

- Llantas de acero que configuran la piel exterior.
- Llantas en el perímetro con agujeros roscados para el amarre del módulo superior.
- Llanta de cierre de ensamblaje con agujeros rasgados para poder soldar la llanta a los nervios interiores y que se haga un conjunto más rígido.
- Tochos de acero que posteriormente son mecanizados para alojar tanto el guiado como las cremalleras.
- Nervios interiores para reforzar el eje.
- Tubo interior para reforzar y mejorar el comportamiento de la estructura.
- Todos los elementos en función de la aplicación tendrán más o menos dimensiones.

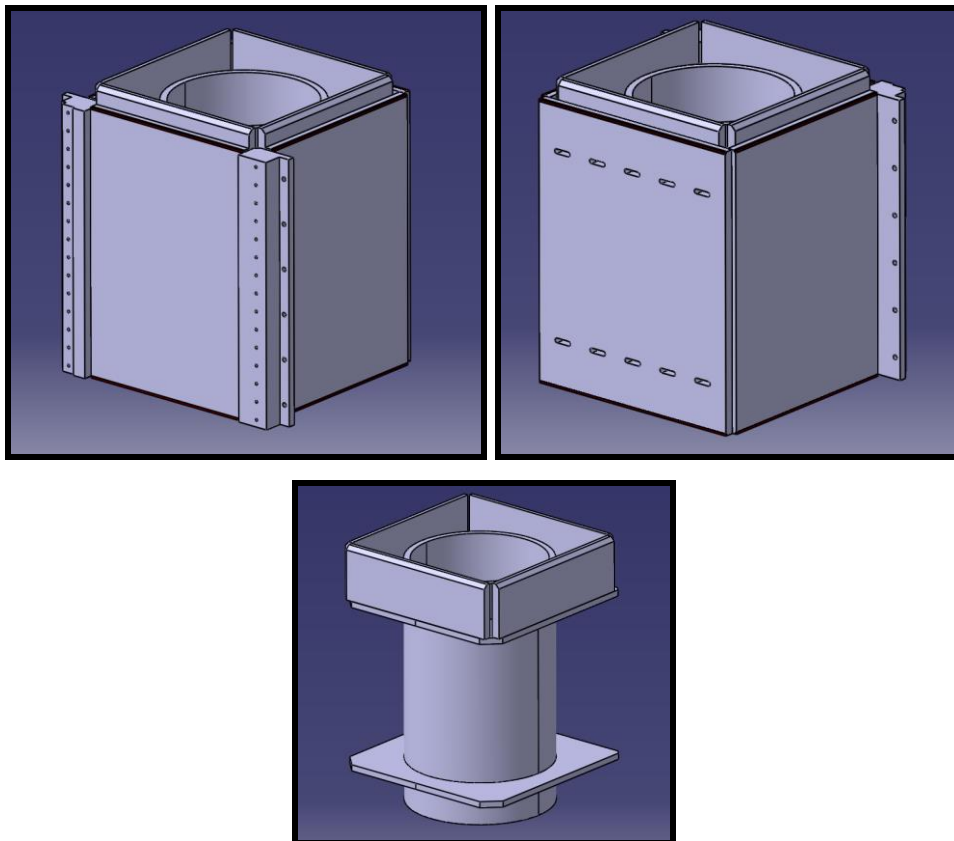


Fig.8.2.2.1, Fig 8.2.2.2 y Fig 8.2.2.3

8.2.3. MÓDULO INFERIOR SOLDADO

- Llantas de acero que configuran la piel exterior.
- Llantas en el perímetro con agujeros roscados para el amarre del módulo superior.
- Llanta de cierre de ensamblaje con agujeros rasgados para poder soldar la llanta a los nervios interiores y que se haga un conjunto más rígido.
- Llanta inferior para el amarre del cabezal de máquina.
- Tochos de acero que posteriormente son mecanizados para alojar tanto el guiado como las cremalleras.
- Nervios interiores para reforzar el eje.
- Tubo interior para reforzar y mejorar el comportamiento de la estructura.
- Todos los elementos en función de la aplicación tendrán más o menos dimensiones.

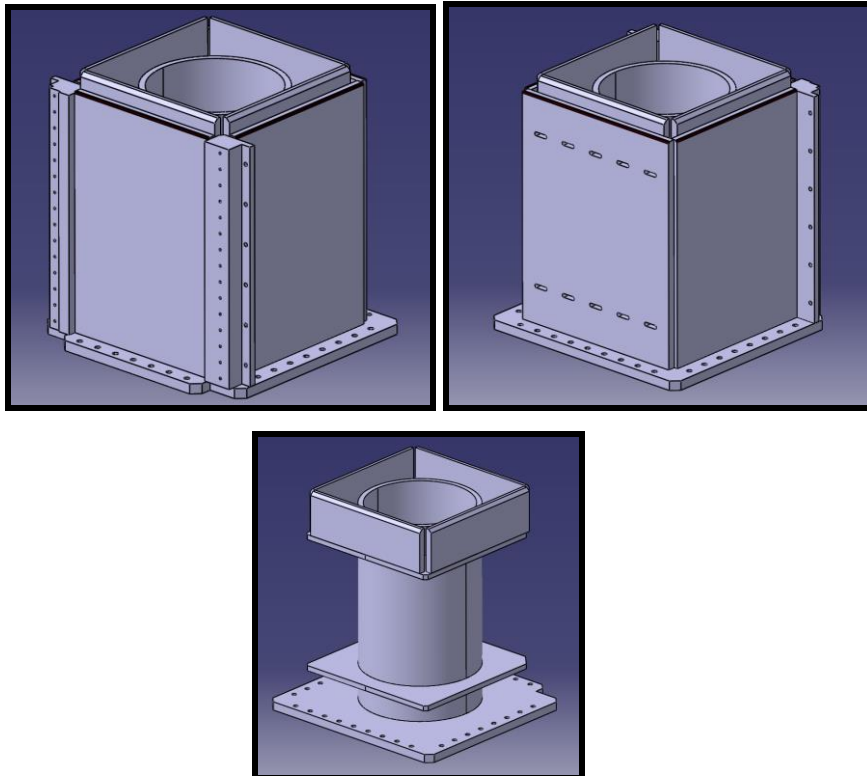


Fig. 8.2.3.1, Fig 8.2.3.2 y Fig 8.2.3.3

8.2.4. UNIÓN DE LOS DISTINTOS MÓDULOS

La unión de los distintos módulos se realiza mediante un cordón de soldadura continuo, unificando las distintas piezas en una única pieza, mejorando así su comportamiento.

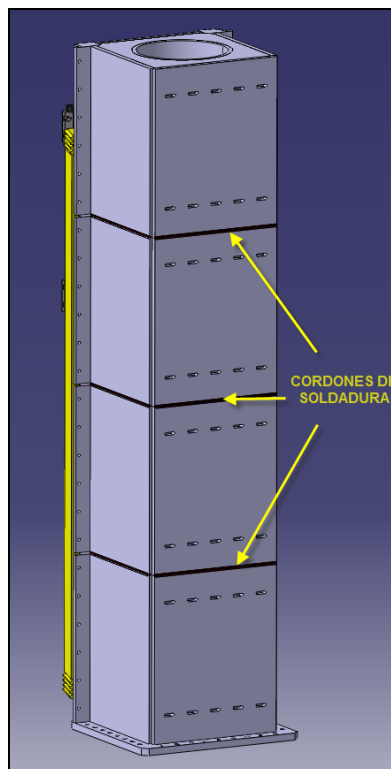
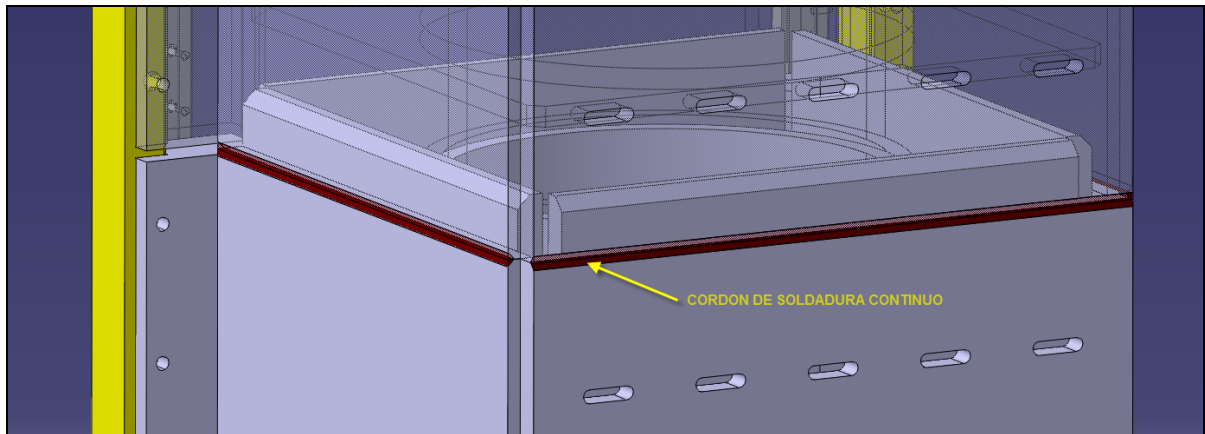


Fig 8.2.4.1 y Fig. 8.2.4.2

8.2.5. VENTAJAS DEL USO DE SISTEMA MODULAR SOLDADO

- Al tener un *stock* de las distintas partes, se *reduce tiempo de creación* del nuevo eje vertical ya que, únicamente, hay que unir las, (superior, intermedia/as e inferior) mediante un cordón de soldadura continuo, consiguiéndose así una única pieza para posteriormente mandarlas a mecanizar acorde a la aplicación, al ser siempre el mismo tipo de ensamblaje se reduciría el tiempo que dedicaría el operario a su montaje ya que estaría acostumbrado, *reduciendo así el costo* general de la creación de un nuevo eje.
- Al ser una *única pieza* al estar soldada, su comportamiento, cuando se mecanice, será mejor y más repetitivo.
- Al *reducir el tiempo de creación* de la pieza se puede *adaptar más fácil* a los *plazos exigidos* por la empresa que, por ejemplo, demanda una taladradora para una aplicación especial.
- Al hacer *siempre piezas iguales*, la empresa subcontratada para fabricar las distintas partes puede tener útiles preparados para fabricar las distintas caldererías costando algo más la primera vez, pero, a la larga, se produce una *reducción de costes* ya que los operarios estarían acostumbrados a fabricar el mismo tipo de piezas.

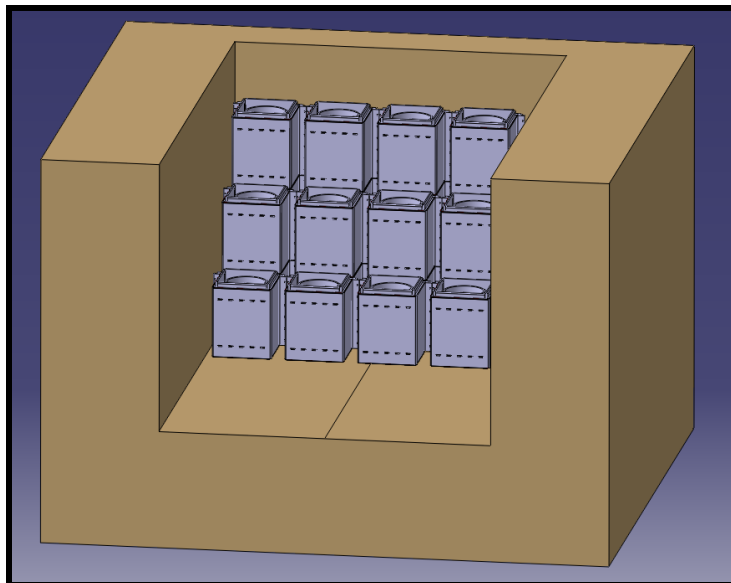


Fig.8.2.5.1

8.2.6. INCONVENIENTES DEL USO DE SISTEMA MODULAR SOLDADO

- Si queremos variar la longitud de un eje z ya fabricado, tendríamos que soldar completamente uno nuevo a la longitud necesaria, aunque valorando los costes que costaría mecanizar solo uno intermedio atornillado y alinearlos, los costes, posiblemente, serían menores dependiendo de la precisión de la aplicación para la que fuese utilizada la fresadora vertical.



Fig. 8.2.6.1

8.3. SOLUCIÓN ADOPTADA

La solución modular adoptada, de las dos posibles soluciones, *sería la del eje vertical soldado*, principalmente por:

- La fabricación de los distintos módulos sería mas barata porque los distintos láseres que componen la calderería de unión tendrían menos procesos de fabricación, ya que no tendrían que realizarse los agujeros roscados y los previos para pasadores, que si habría que hacerse en el eje modular atornillado. En el eje modular soldado los distintos módulos no tendrían nada para la unión ya que se realizaría mediante soldadura.

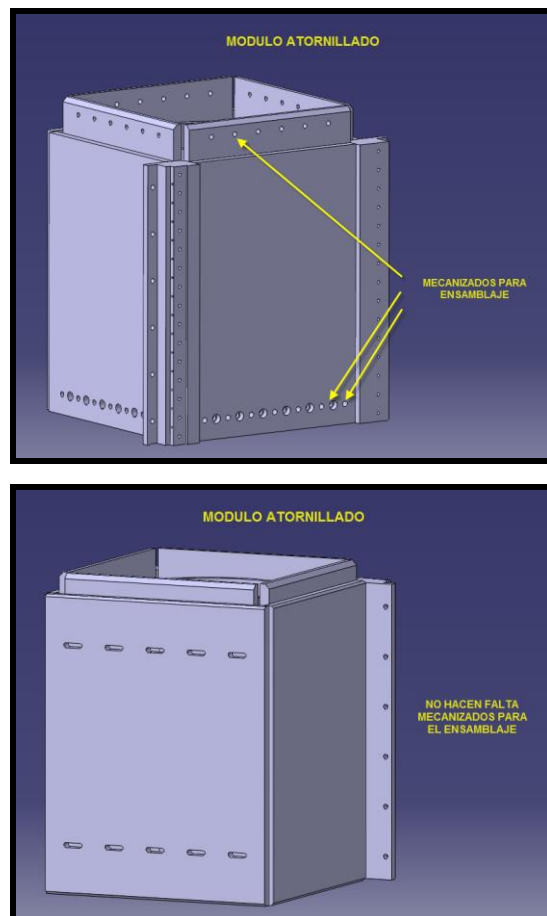


Fig 8.3.1 y Fig. 8.3.2

- Al ser una *única pieza*, al estar soldada, su comportamiento cuando se mecanice y realice su función, sería más continuo y más repetitivo.



Fig. 8.3.3

- Se reduce el N.º de elementos en el ensamblaje del eje vertical ya que el único necesario sería la soldadura y no tanto tornillo y pasador.

9. CÁLCULO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

9.1. ESTUDIO DE LA RIGIDEZ EN COMPARACIÓN CON EL EJE VERTICAL CONVENCIONAL.

Para el cálculo se ha utilizado el programa de calculo por elementos finitos NX 9.

Las cargas que intervienen en el cálculo serían tanto para el *eje convencional*, como para el *eje z modular soldado* de 1000N en cada una de las direcciones X,Y,Z. y las restricciones serian en los patines en todos los giro y en todas las direcciones menos en la vertical que estaria en la cremallera.

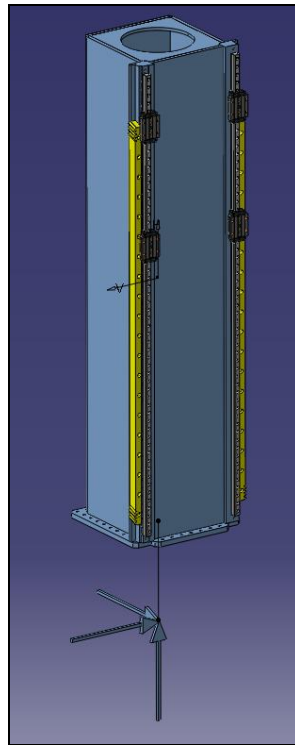


Fig. 9.1

La rigidez sería igual a la relación entre la fuerza aplicada en cada una de las direcciones y el desplazamiento obtenido por la aplicación de la fuerza obtenida.

$$K_i = \frac{F_i}{\delta_i}$$

9.1.1. RIGIDEZ EJE VERTICAL CONVENCIONAL

- DIRECCION X

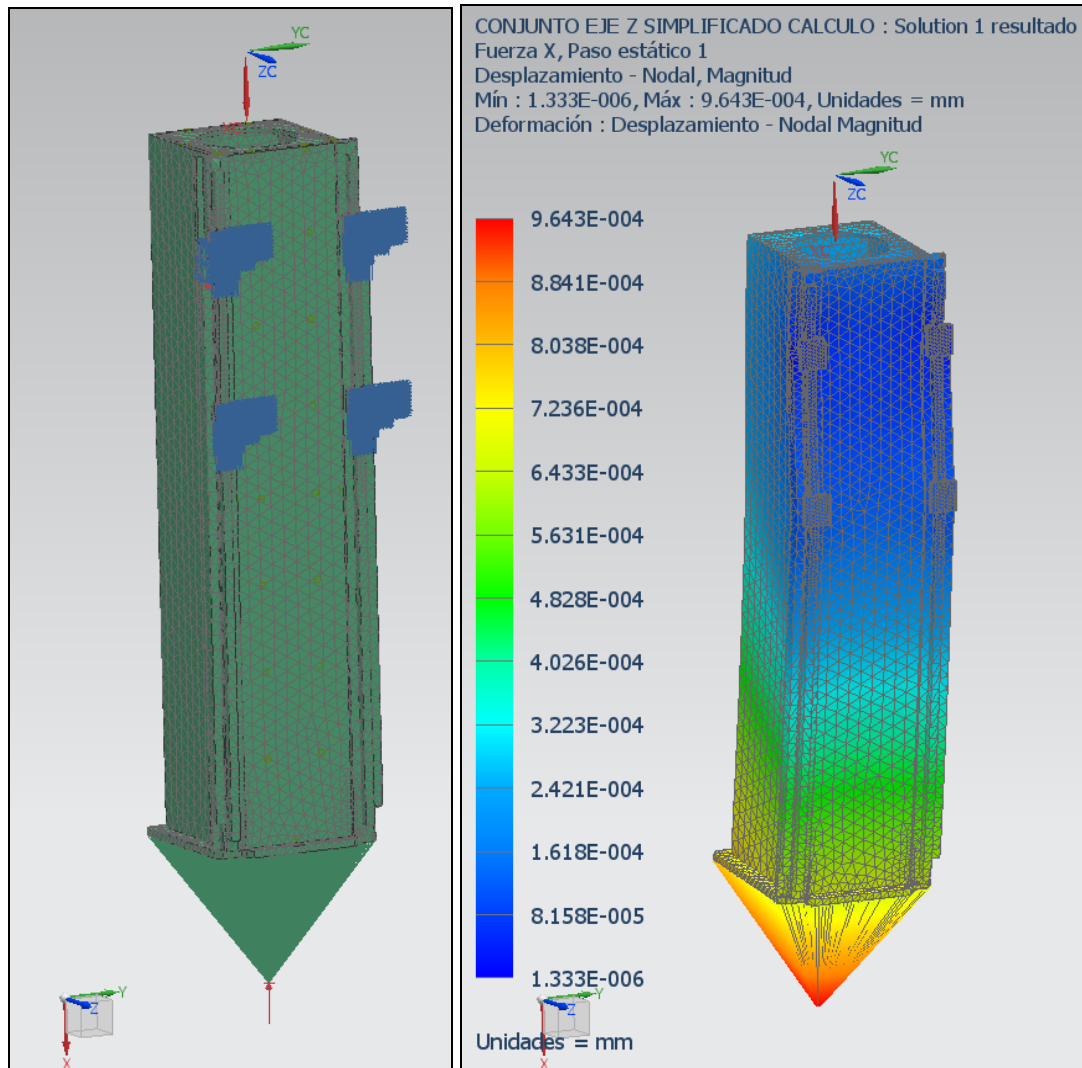


Fig 9.1.1.1

Fuerza dirección X = 1000 N

Desplazamiento dirección X = 9.64E-004mm

Rigidez = $1000 / 9.64E-004 = 1037344,4 \text{ N/mm}$.

- DIRECCION Y

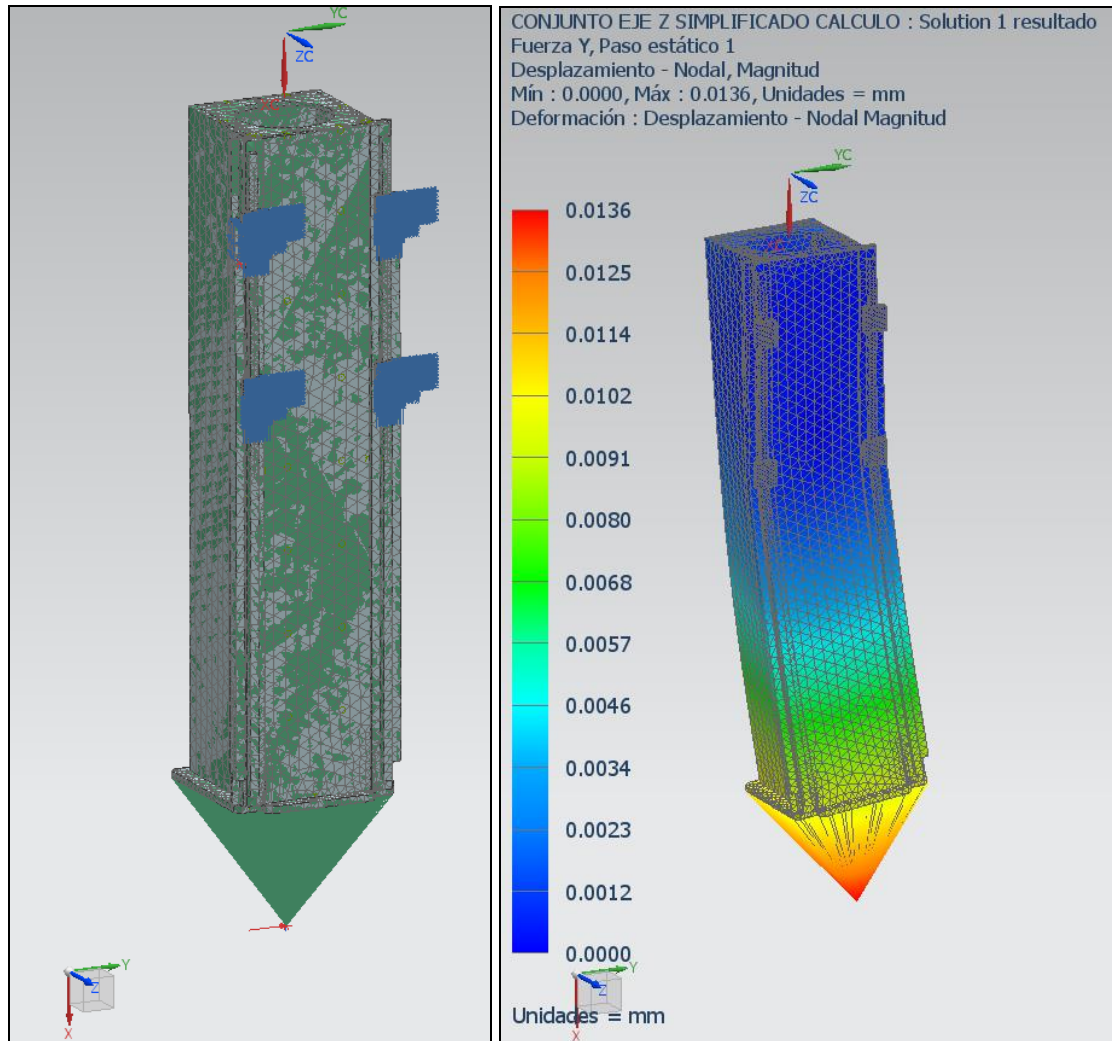


Fig 9.1.1.2

Fuerza dirección Y = 1000 N

Desplazamiento dirección Y = 0.0136m

Rigidez = $1000 / 0.0136 = 73529.41 \text{ N/mm}$.

- DIRECCION Z

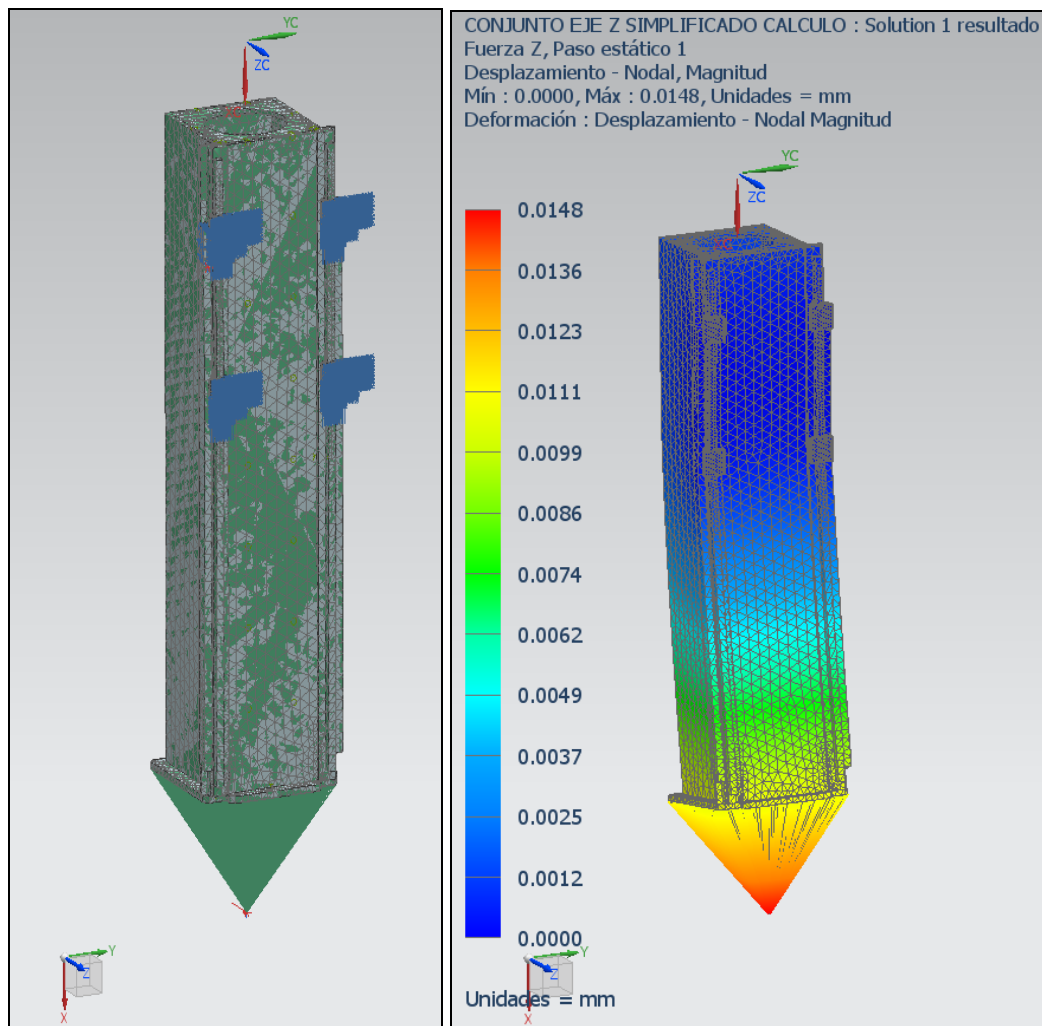


Fig 9.1.1.3

Fuerza dirección Z = 1000 N

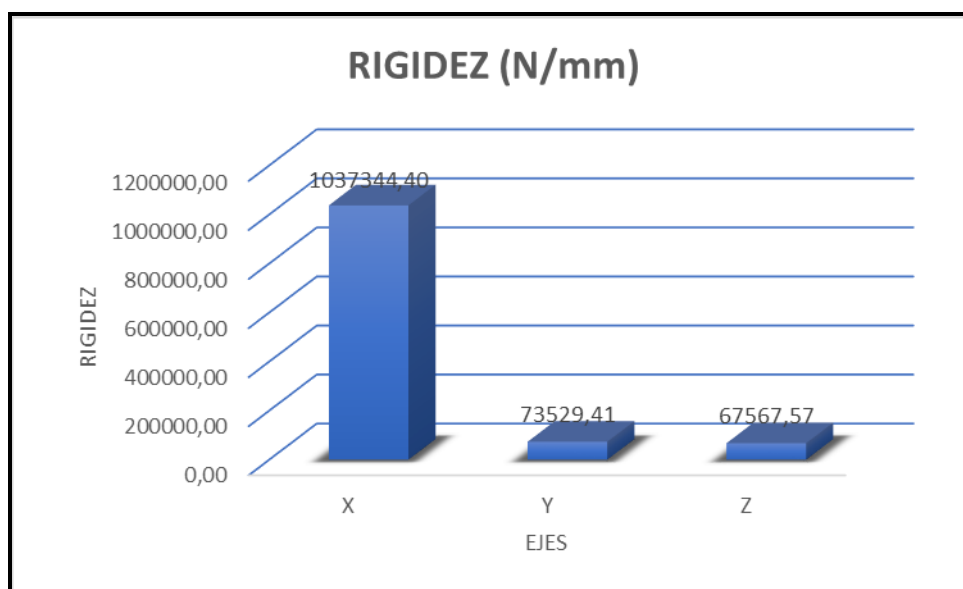
Desplazamiento dirección Z = 0.0148mm

Rigidez = $1000/0.0148 = 67567.57 \text{ N/mm}$.

9.1.1.1. CUADRO RESUMEN RIGIDEZ EJE VERTICAL CONVENCIONAL EN CADA UNO DE LOS EJES

RIGIDEZ EJE Z CONVENCIONAL			
	FUERZA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ (N/mm)
X	1000,00	0,0010	1037344,40
Y	1000,00	0,0136	73529,41
Z	1000,00	0,0148	67567,57

9.1.1.2. GRÁFICA RESUMEN DE RIGIDEZ EJE VERTICAL CONVENCIONAL EN CADA UNO DE LOS EJES



9.1.2. RIGIDEZ EJE VERTICAL MODULAR SOLDADO

- DIRECCION X

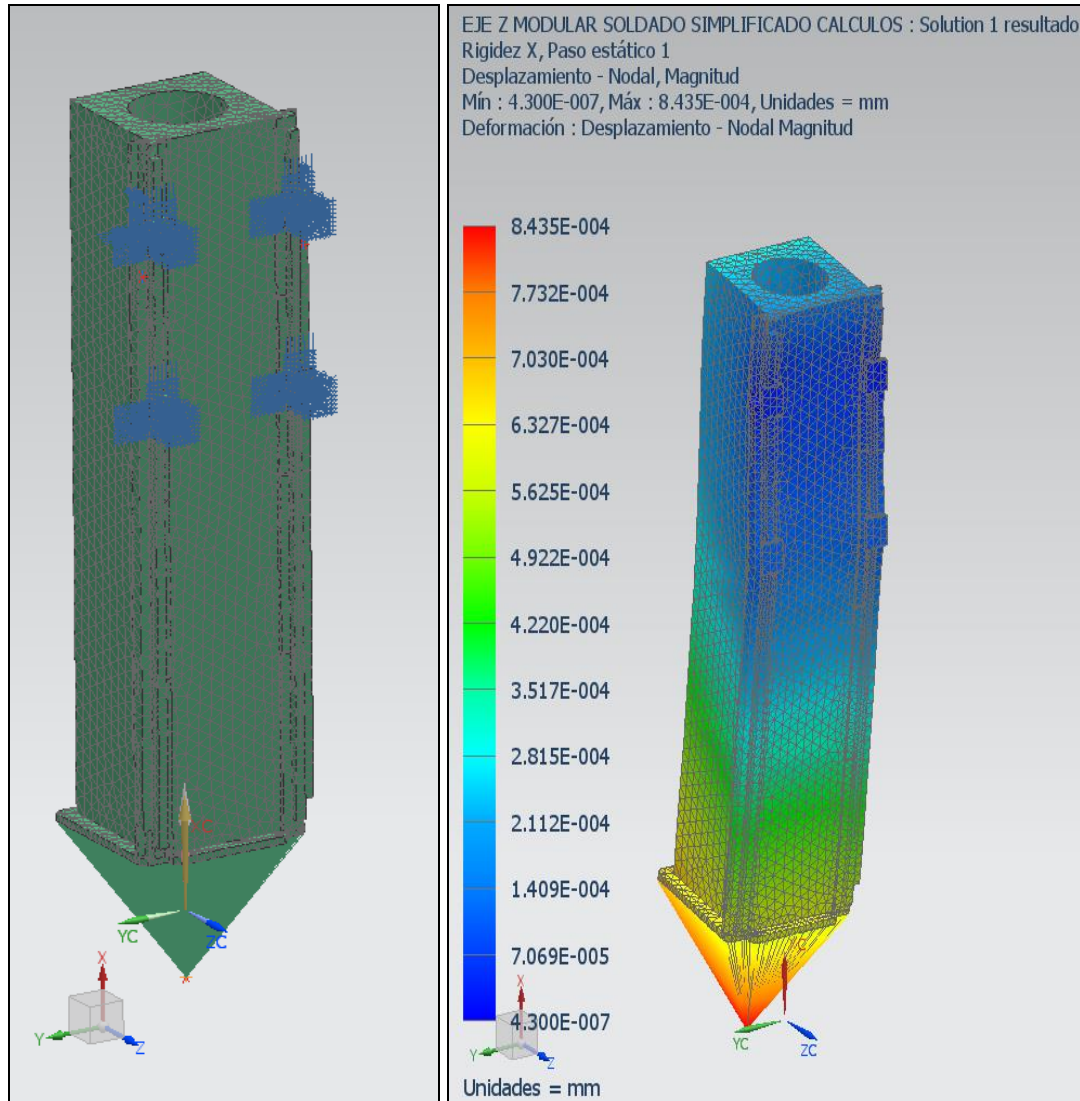


Fig 9.1.2.1

Fuerza dirección X = 1000 N

Desplazamiento dirección X = 8.435E-004 mm

Rigidez = $1000 / 8.435E-004 = 1198322.35 \text{ N/mm}$

- DIRECCION Y

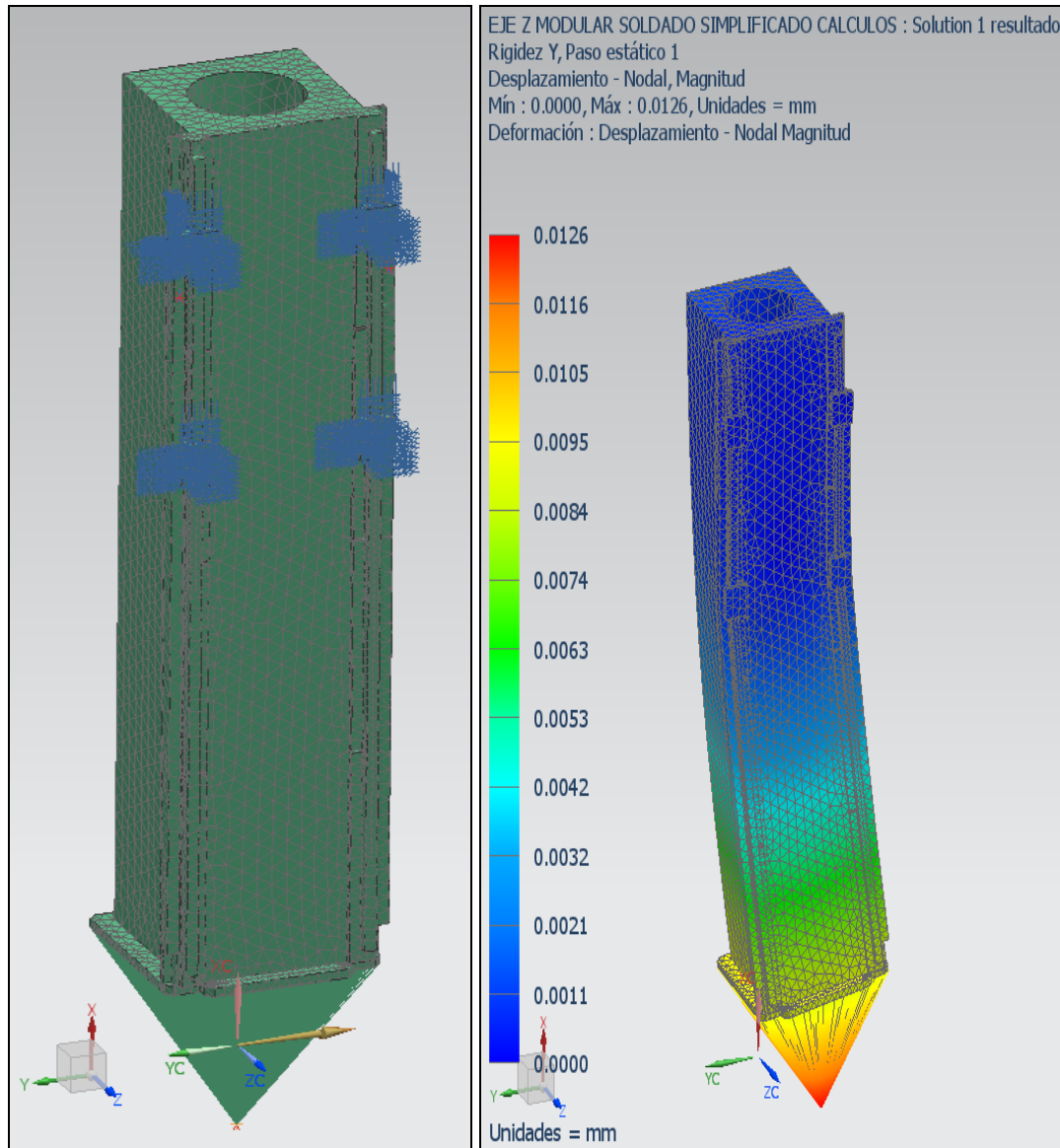


Fig 9.1.2.2

Fuerza dirección Y = 1000 N

Desplazamiento dirección Y = 0.0126 mm

Rigidez = $1000/0.0126 = 79365.08 \text{ N/mm}$

- DIRECCION Z

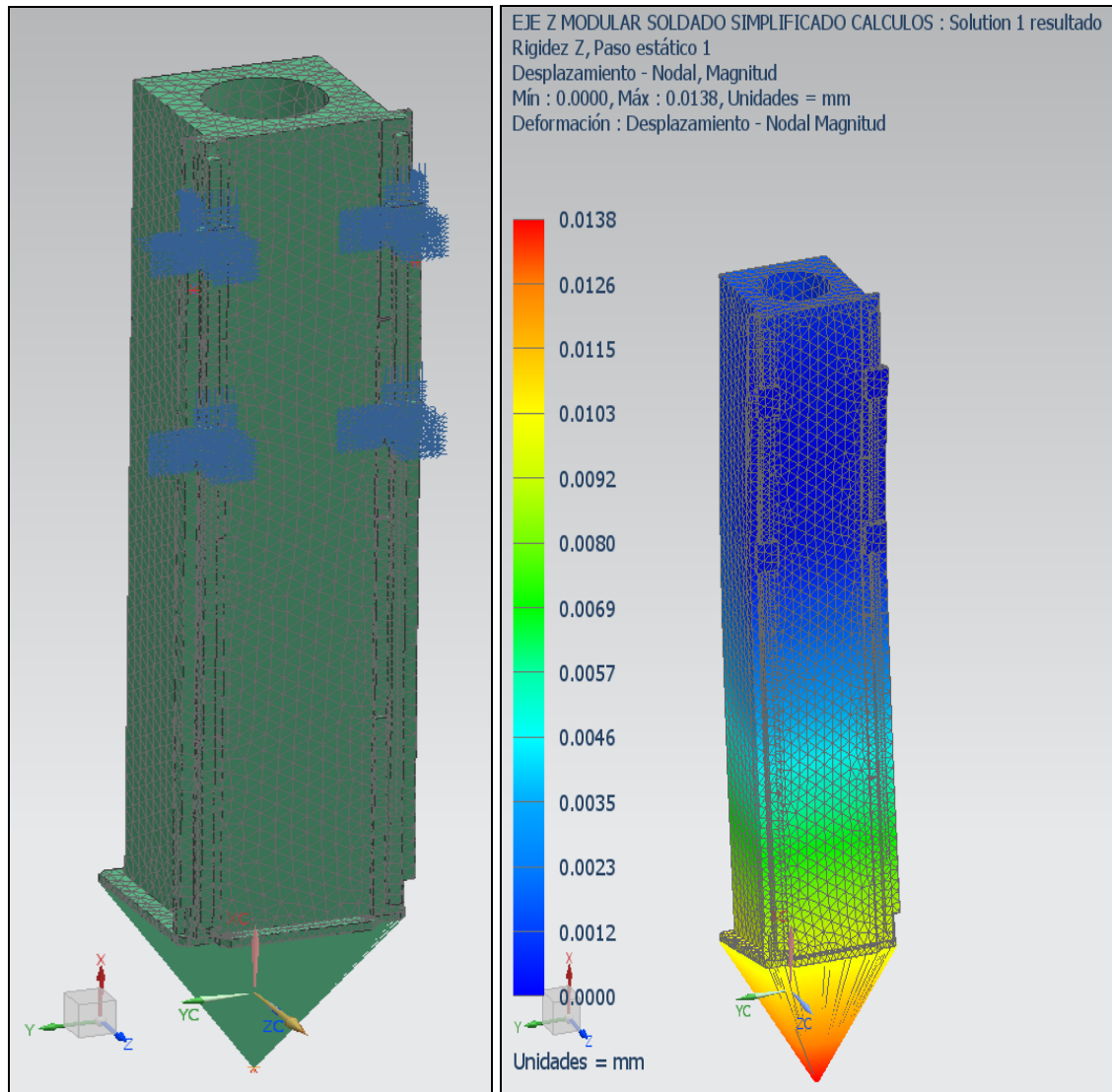


Fig 9.1.2.3

Fuerza dirección Z = 1000 N

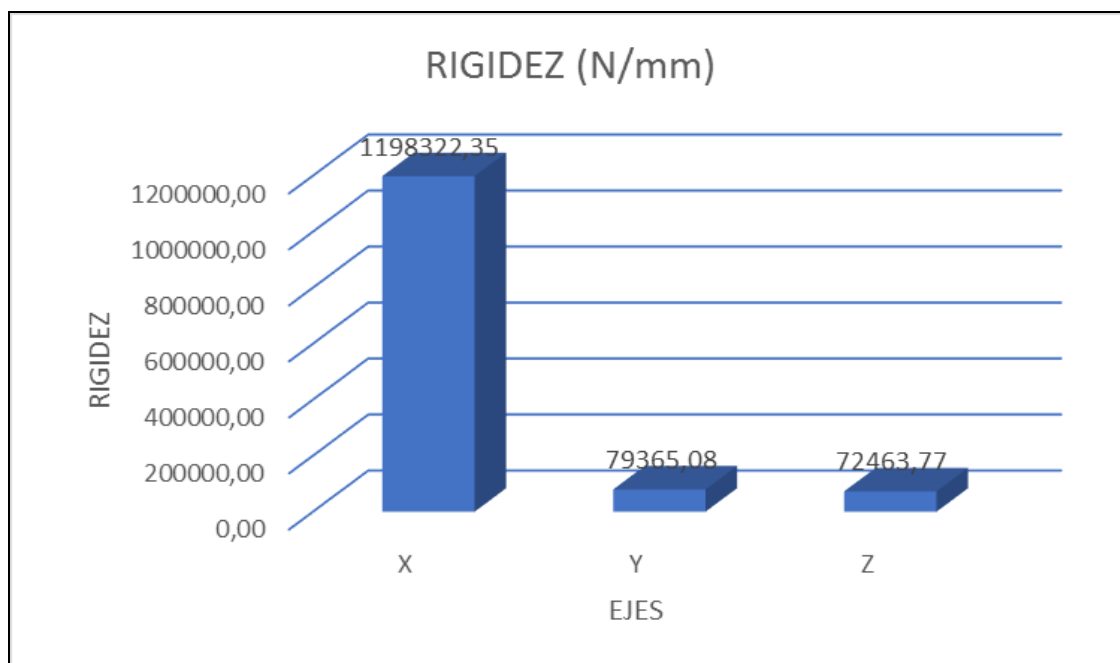
Desplazamiento dirección Z = 0.0138 mm

Rigidez = $1000 / 0.0138 = 72463.77 \text{ N/mm}$

9.1.2.1. CUADRO RESUMEN RIGIDEZ EJE VERTICAL MODULAR SOLDADO EN CADA UNO DE LOS EJES

RIGIDEZ EJE Z MODULAR SOLDADO			
	FUERZA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ (N/mm)
X	1000,00	0,0008	1198322,35
Y	1000,00	0,0126	79365,08
Z	1000,00	0,0138	72463,77

9.1.2.2. GRAFICA RESUMEN DE RIGIDEZ EJE VERTICAL MODULAR SOLDADO EN CADA UNO DE LOS EJES

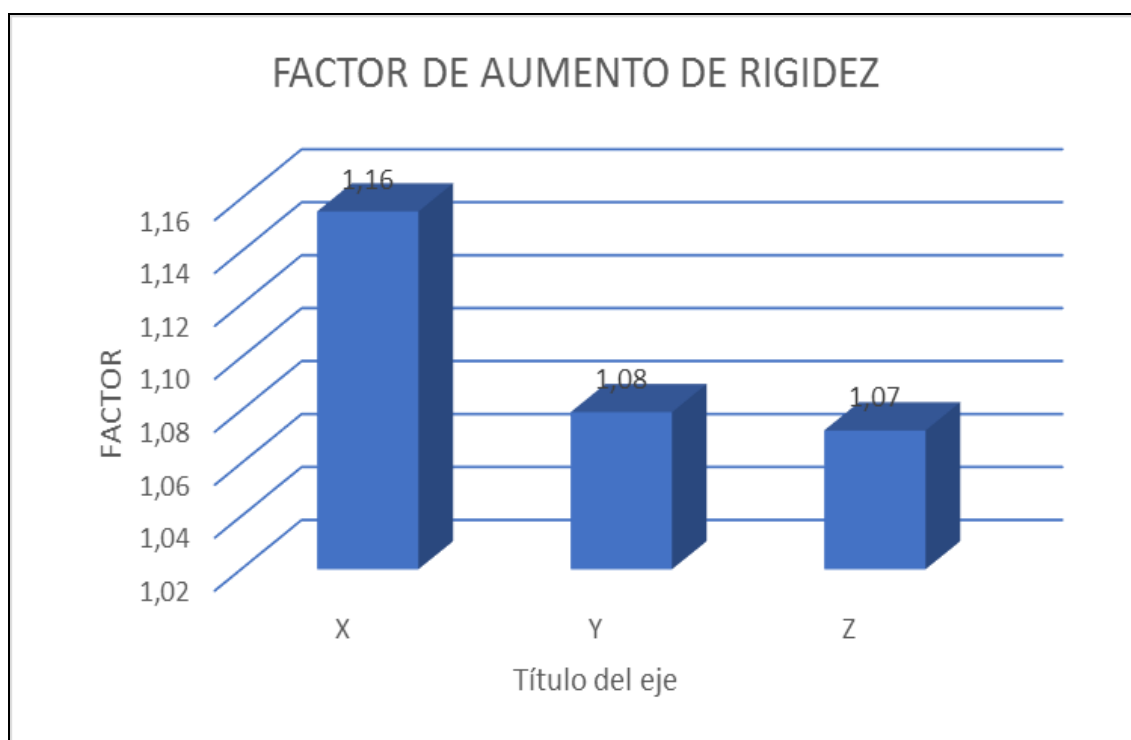


9.1.3. COMPARATIVA RIGIDEZ EJE VERTICAL CONVENCIONAL/EJE VERTICAL MODULAR SOLDADO

9.1.3.1. RELACIÓN DE RIGIDECES EJE VERTICAL

RELACION DE RIGIDEZ EJES	
	FACTOR DE AUMENTO DE RIGIDEZ
X	1,16
Y	1,08
Z	1,07

9.1.3.2. GRÁFICA RESUMEN RELACIÓN RIGIDECES EJES VERTICALES



9.2. ESTUDIO DE LOS MODOS DE VIBRACIÓN EN COMARACIÓN DEL EJE VERTICAL CONVENCIONAL CON EL EJE VERTICAL SOLDADO

9.2.1. MODOS DE VIBRACIÓN EJE VERTICAL CONVENCIONAL.

- MODO 1 = 107.431 Hz

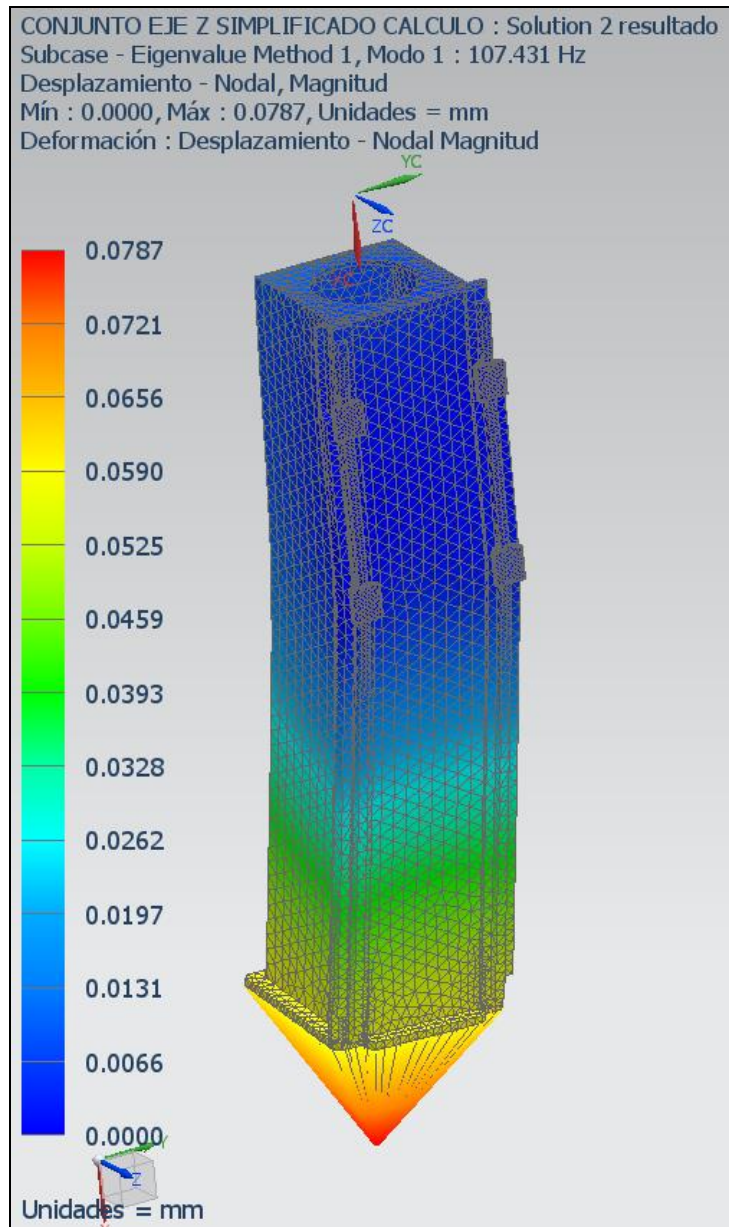


Fig 9.2.1.1

- MODO 2 = 107.668 Hz

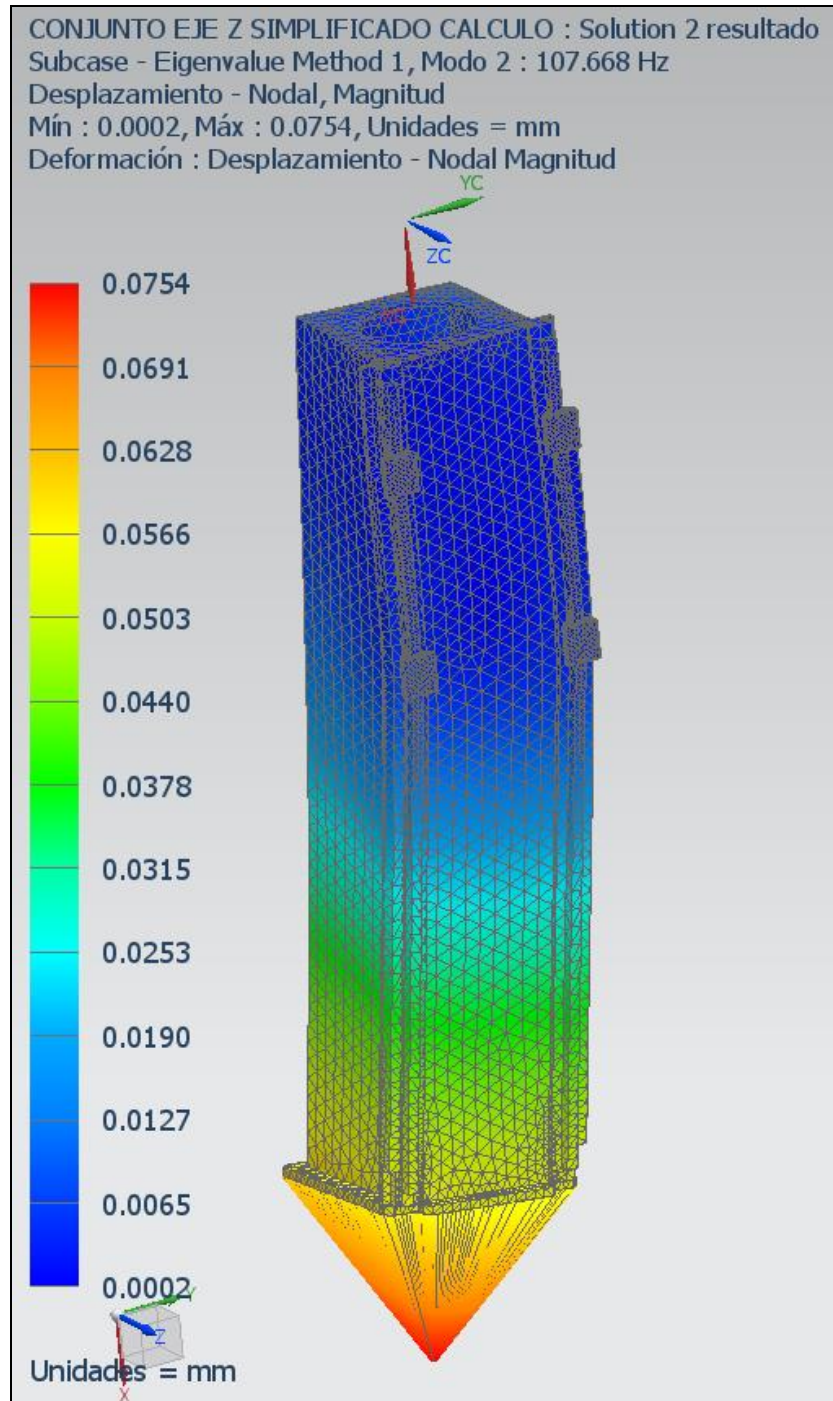


Fig 9.2.1.2

- MODO 3 = 249.310 Hz

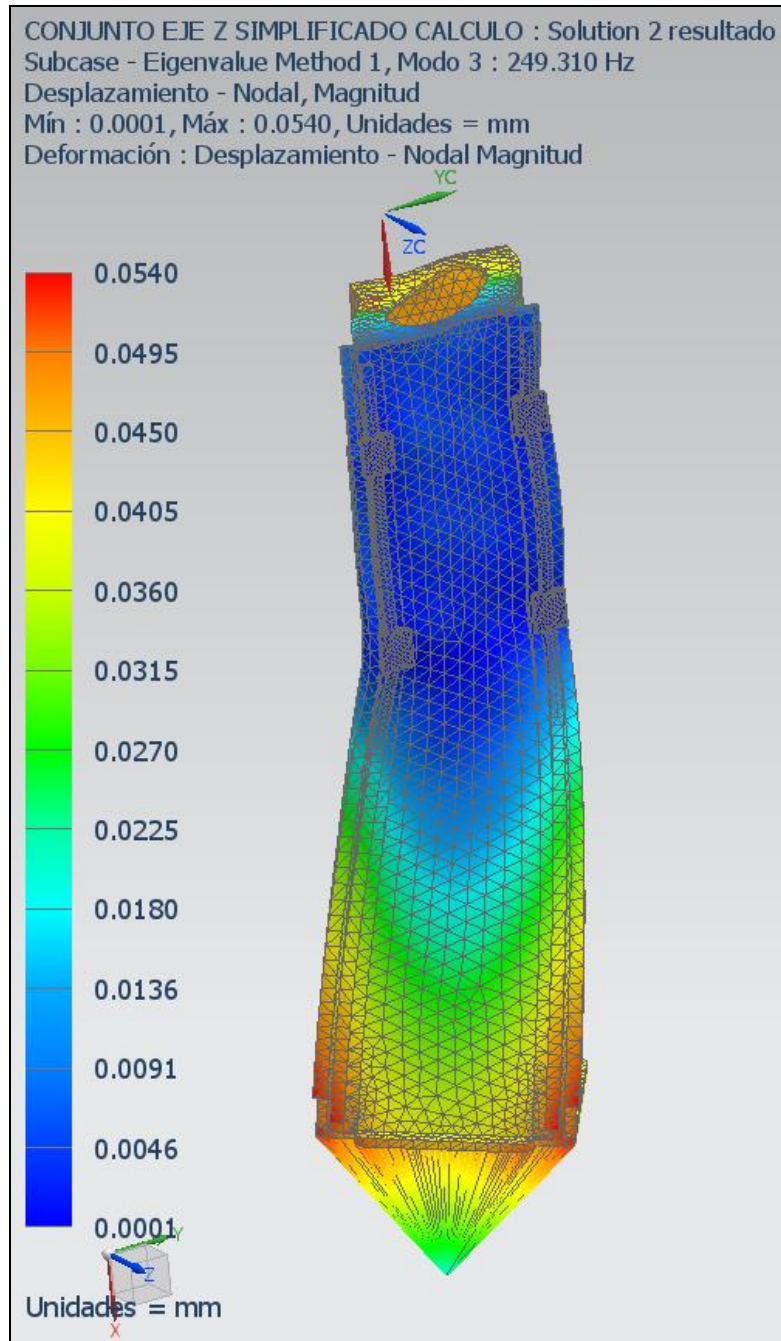


Fig 9.2.1.3

- MODO 4 = 377.787 Hz

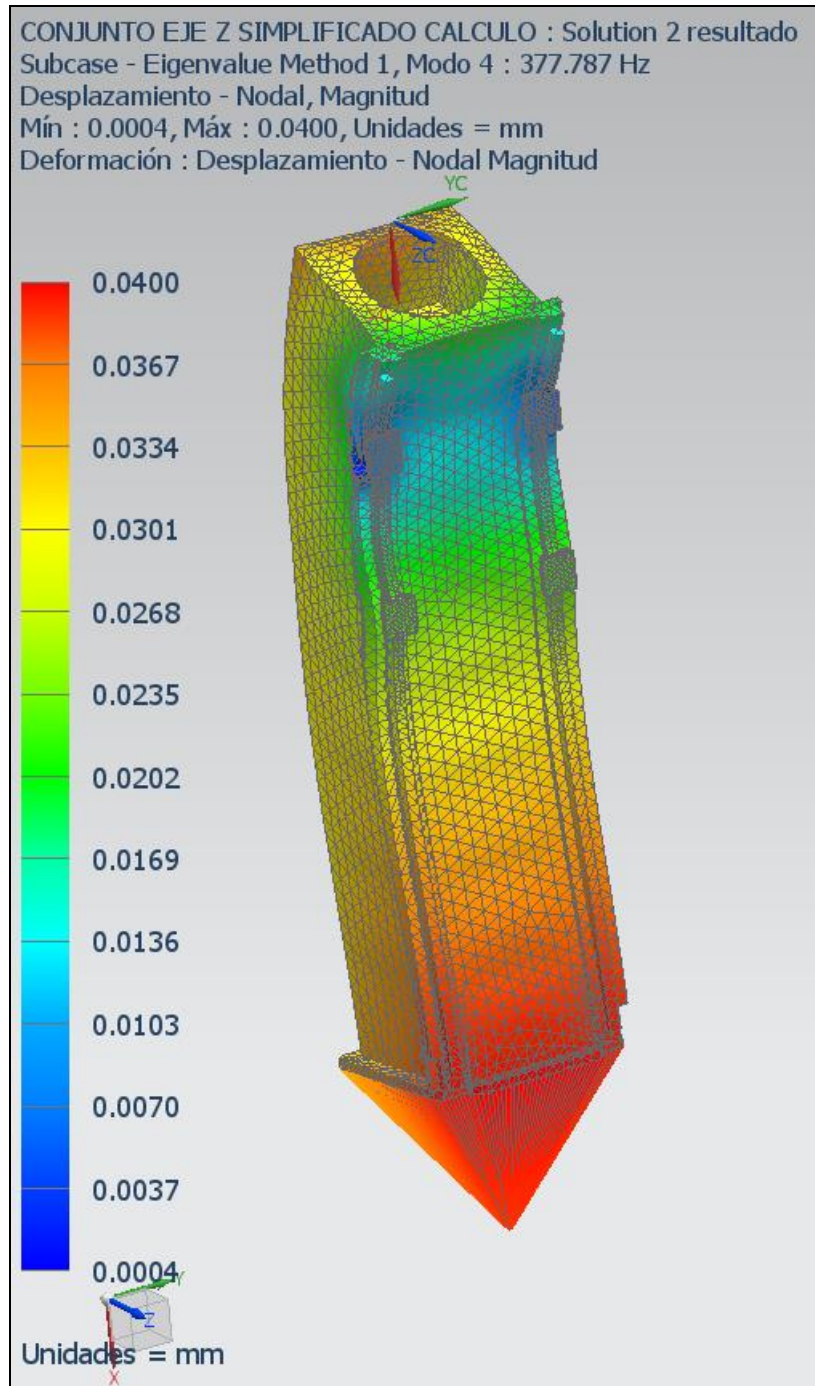


Fig 9.2.1.4

- MODO 5 = 389.084 Hz

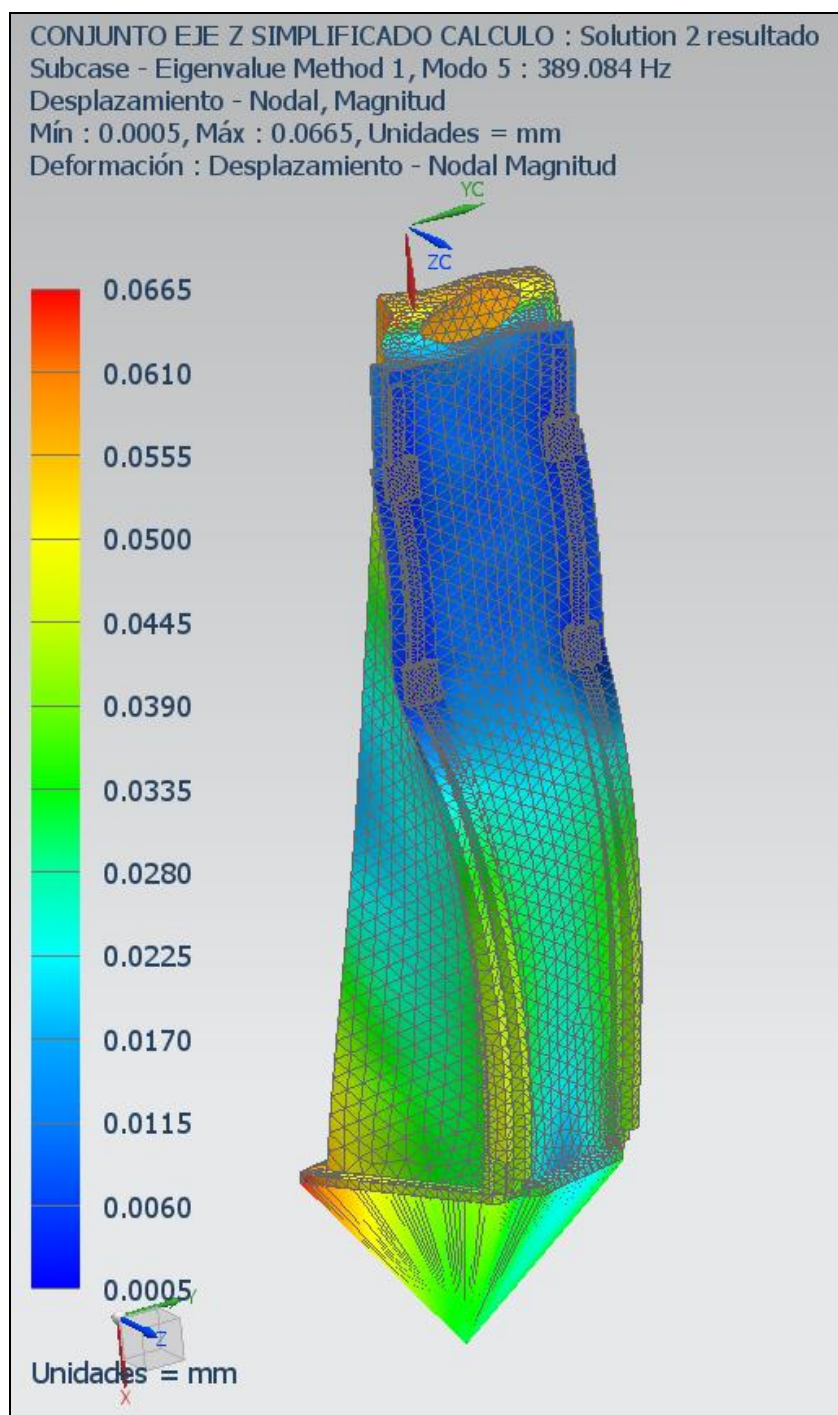


Fig 9.2.1.5

- MODO 6 = 526.642 Hz

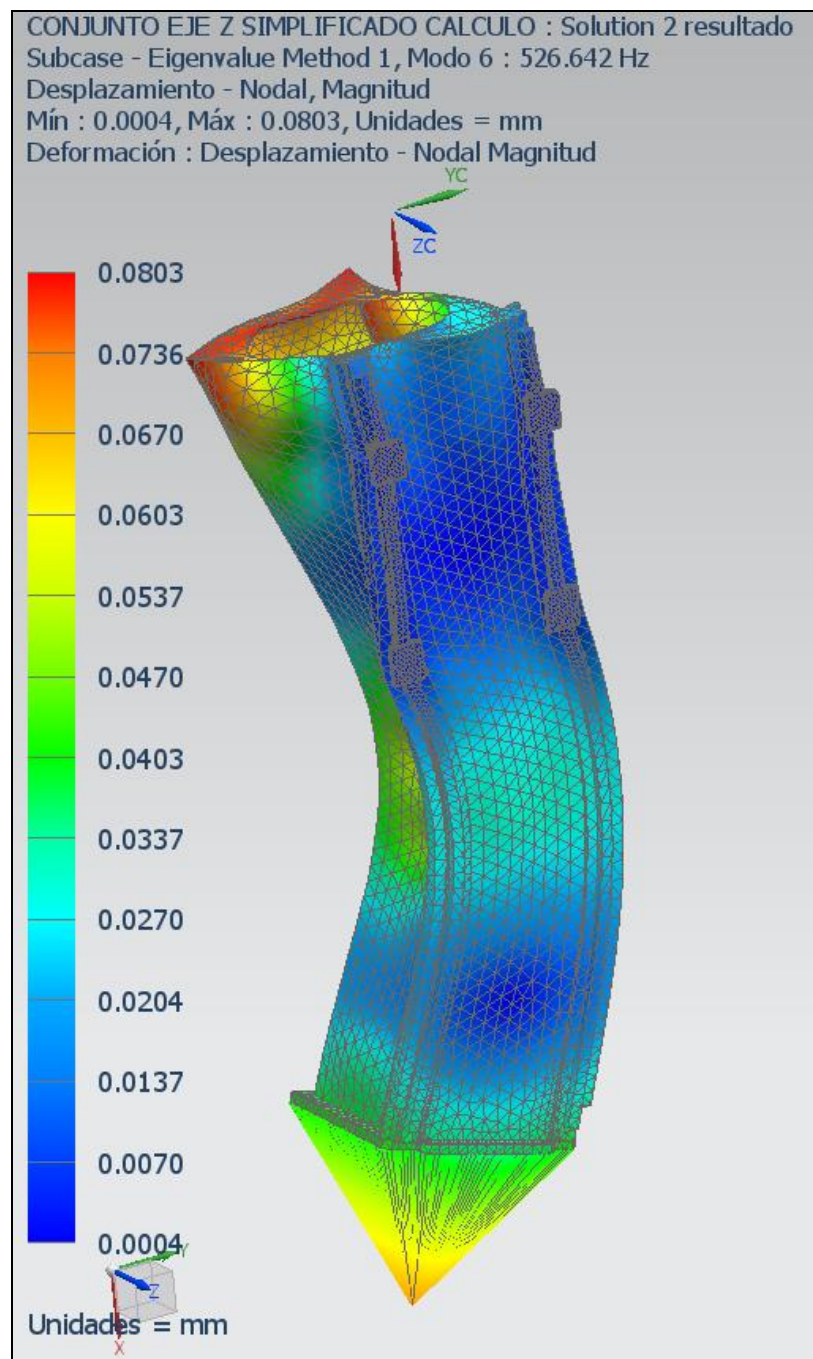


Fig 9.2.1.6

- MODO 7 = 545.616 Hz

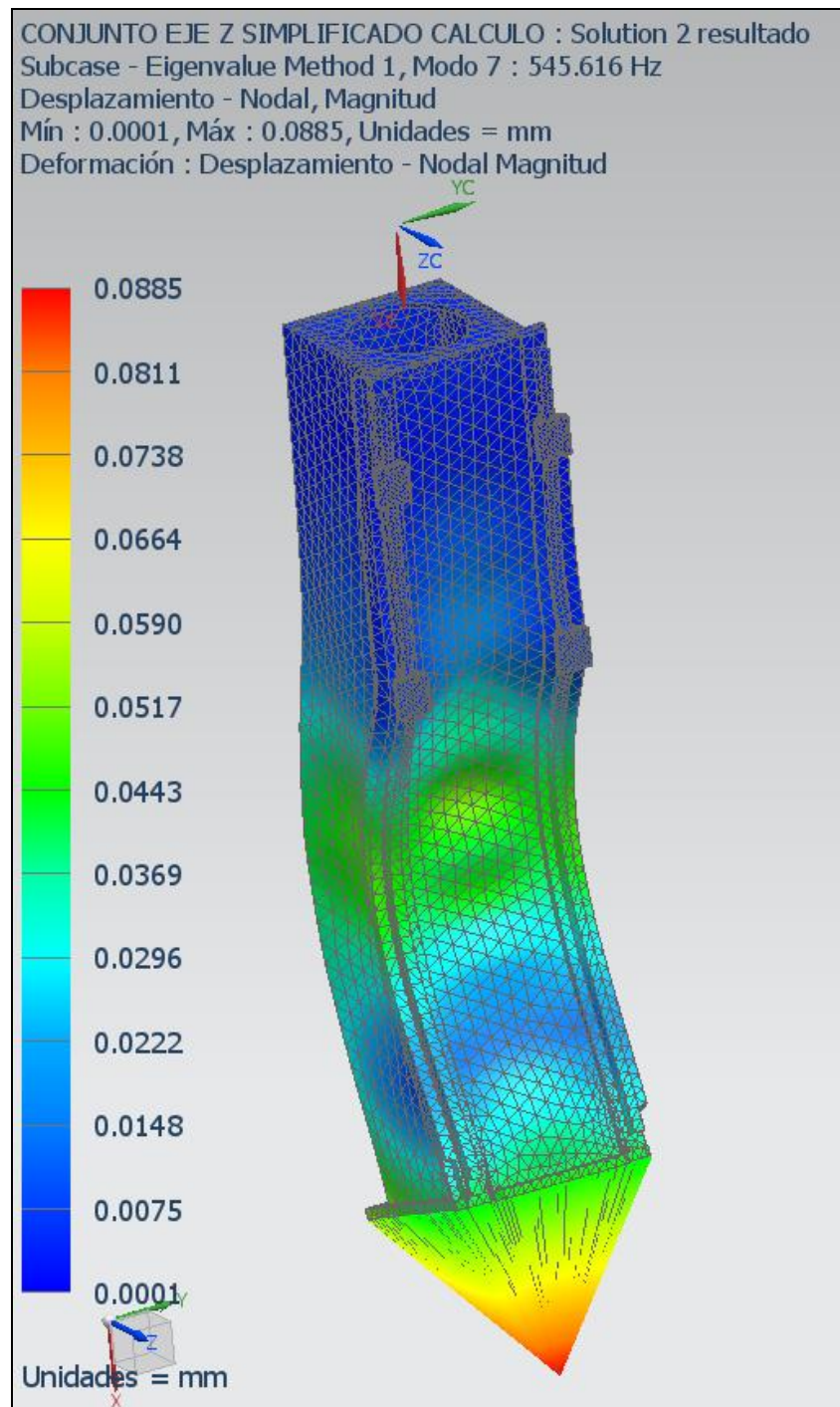


Fig 9.2.1.7

- MODO 8 = 585.723 Hz

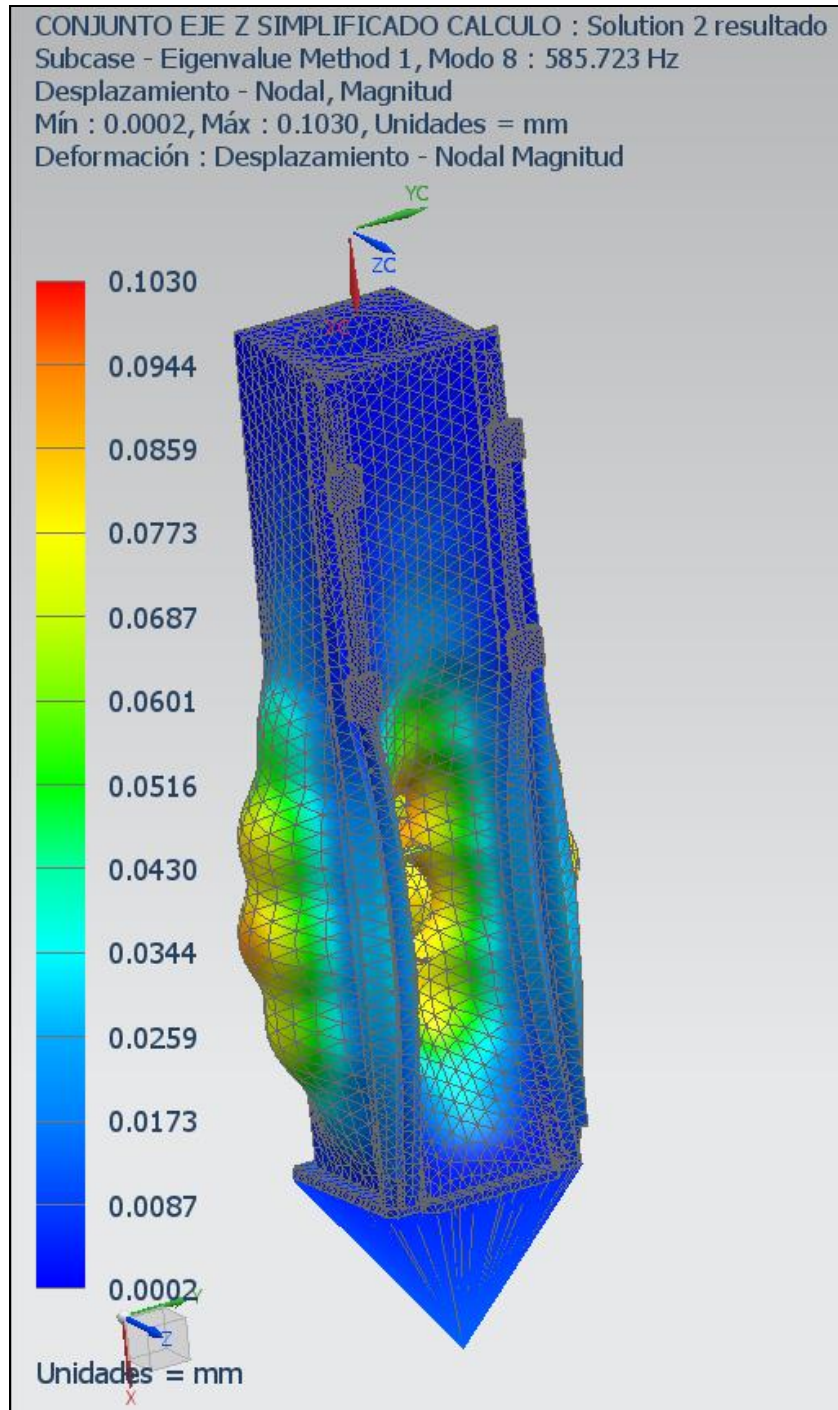


Fig 9.2.1.8

- MODO 9 = 629.055 Hz

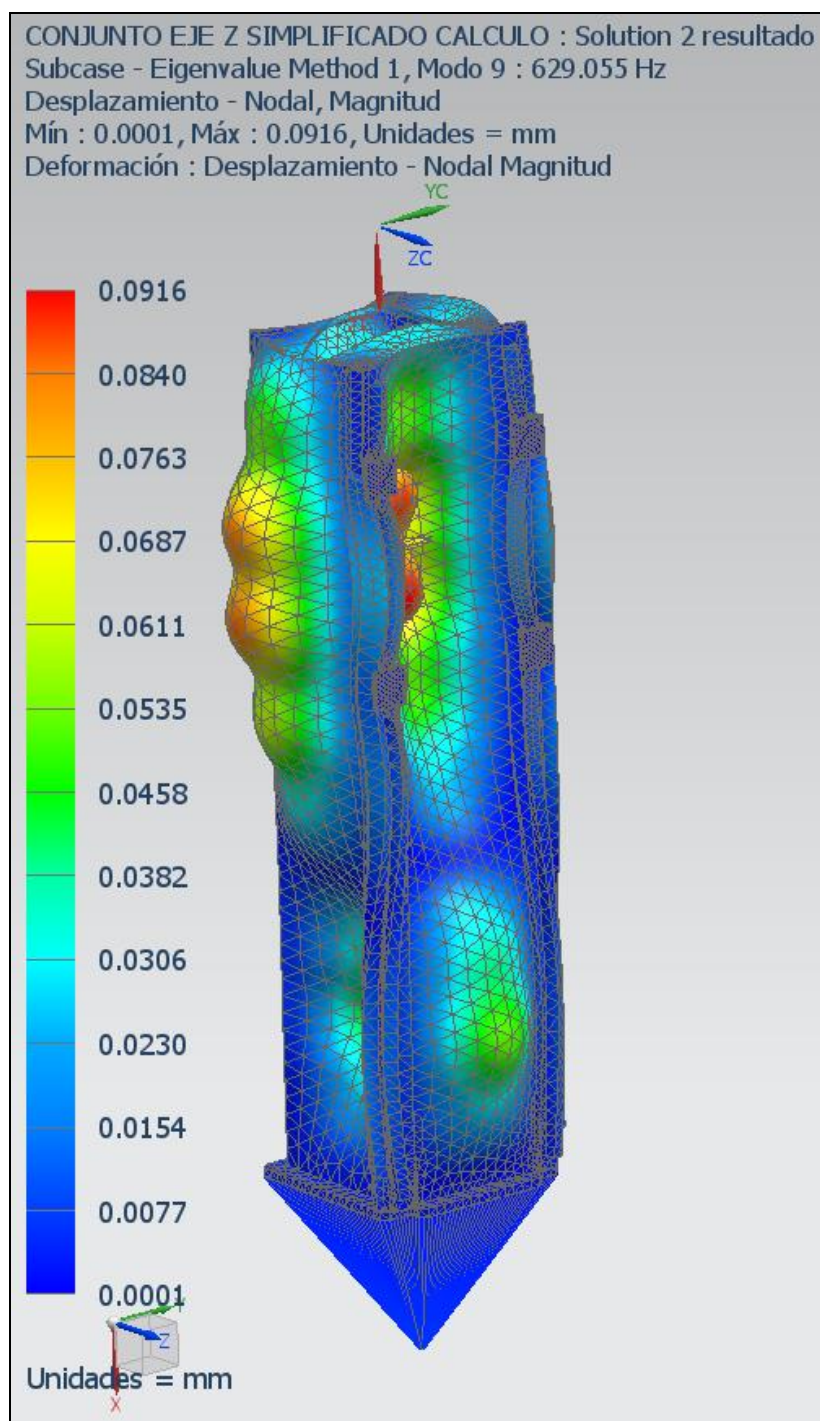


Fig 9.2.1.9

- MODO 10 = 649.307 Hz

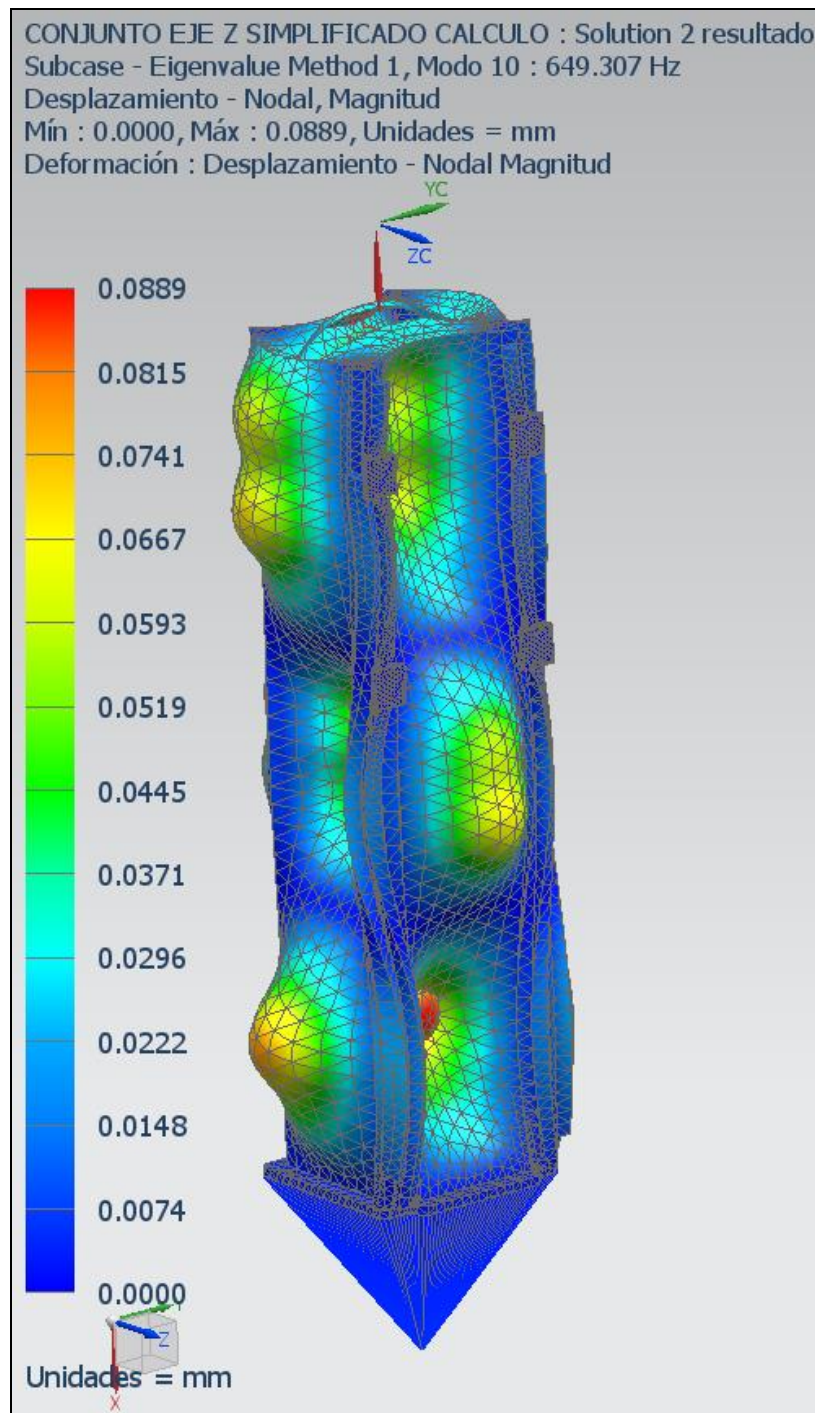


Fig 9.2.1.10

9.2.2. MODOS DE VIBRACIÓN EJE VERTICAL MODULAR SOLDADO.

- MODO 1 = 98.512 Hz

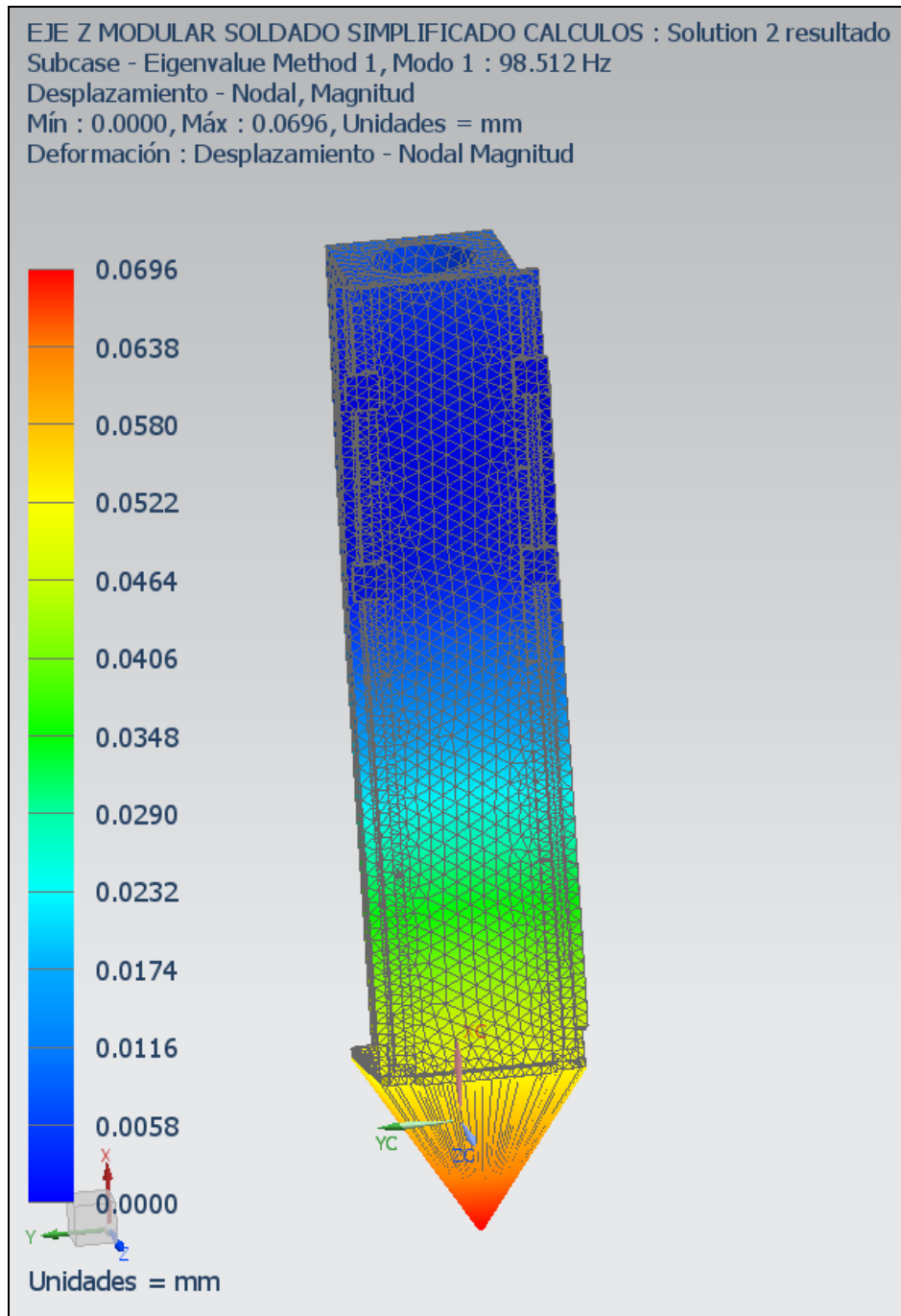


Fig 9.2.2.1

- MODO 2 = 100.276 Hz

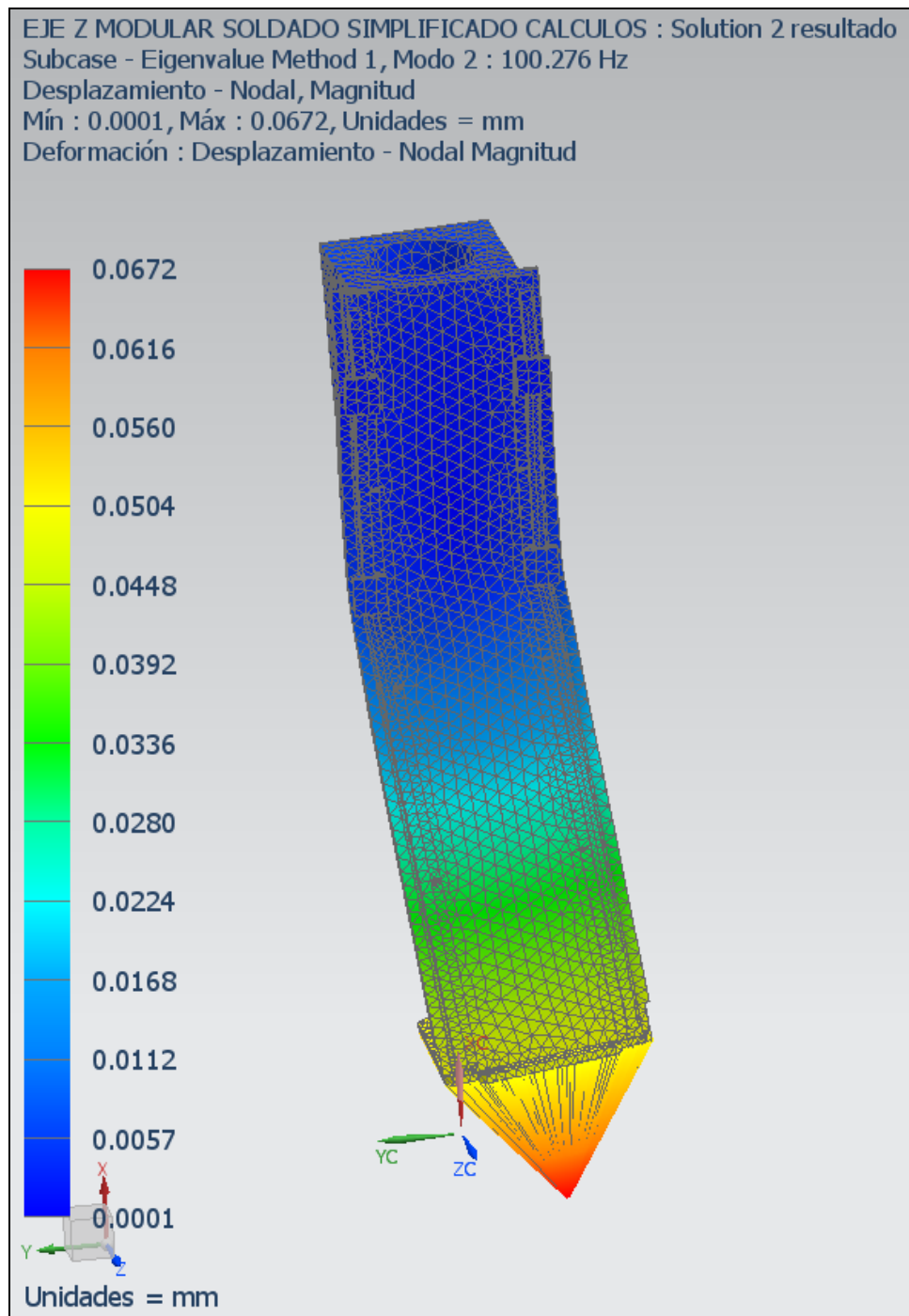


Fig 9.2.2.2

- MODO 3 = 269.038 Hz

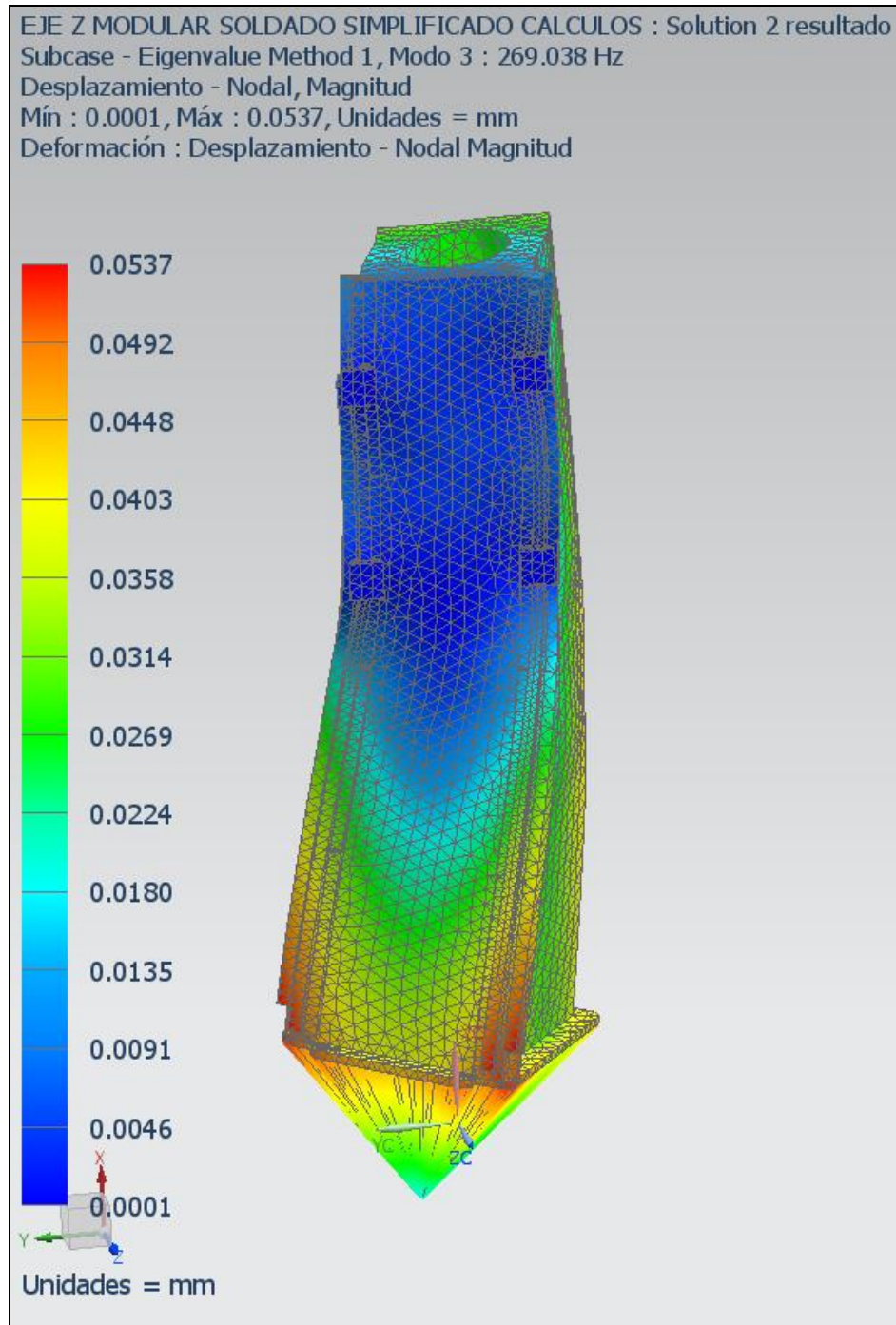


Fig 9.2.2.3

- MODO 4 = 326.165 Hz

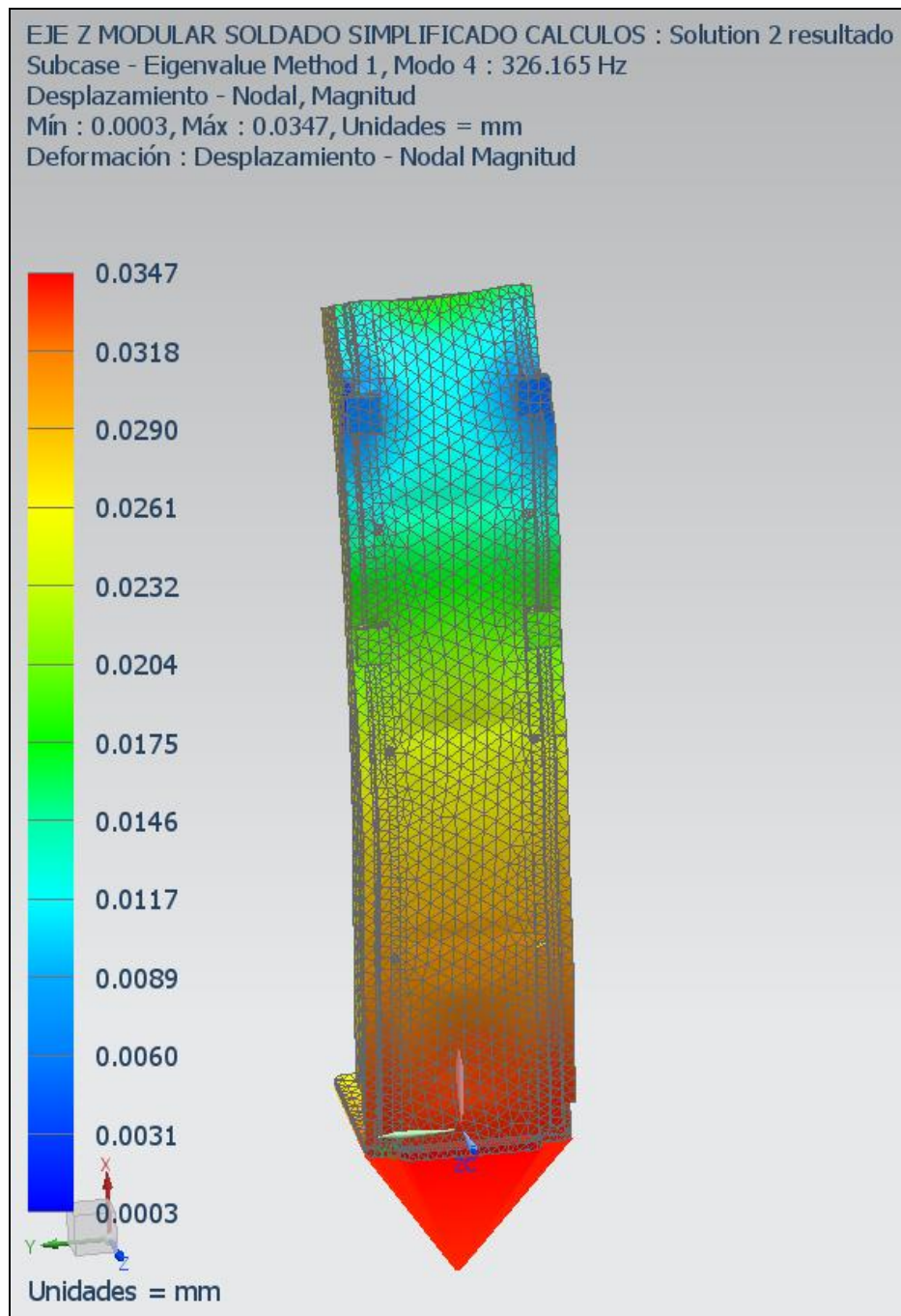


Fig 9.2.2.4

- MODO 5 = 394.979 Hz

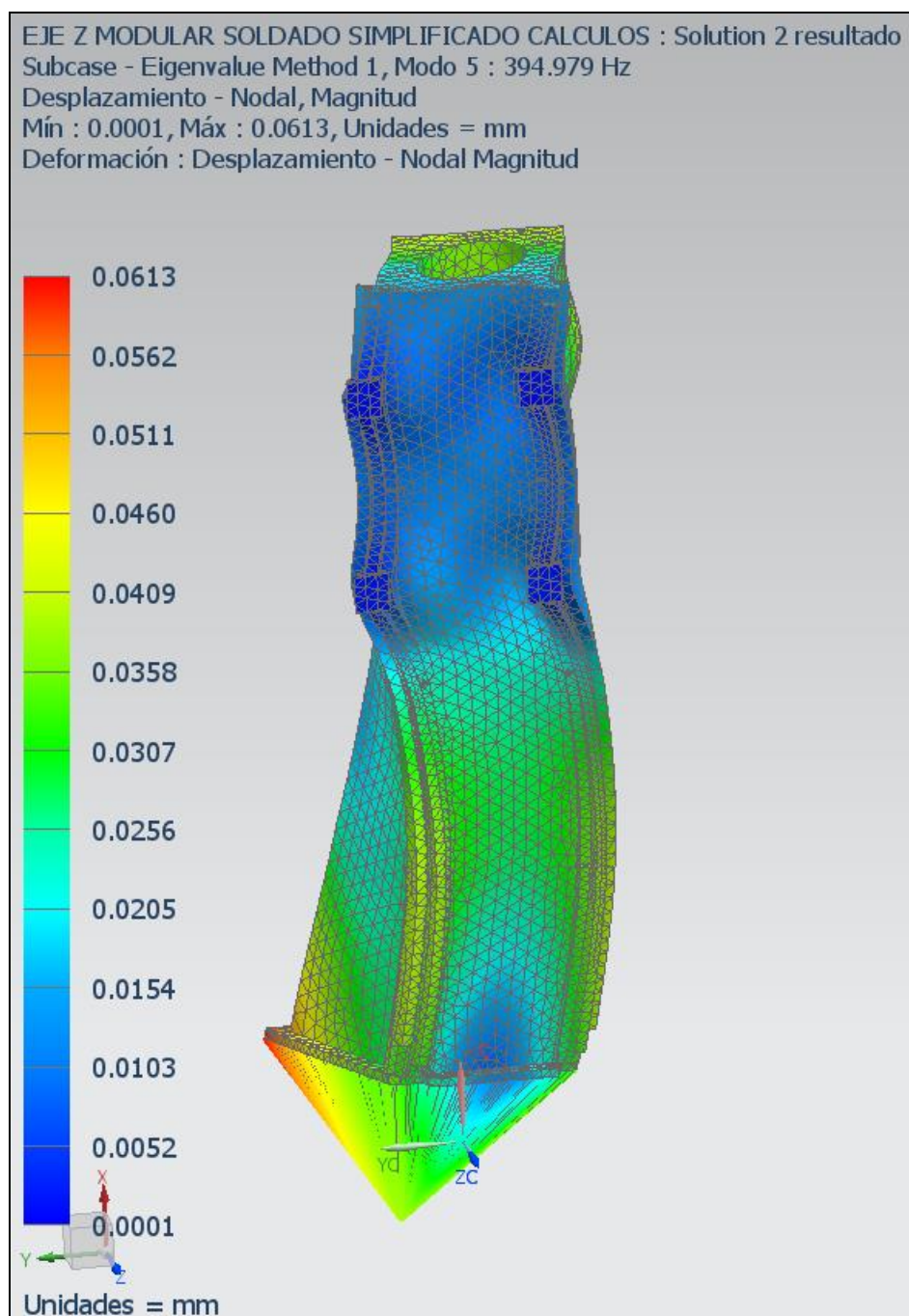


Fig 9.2.2.5

- MODO 6 = 497.442 Hz

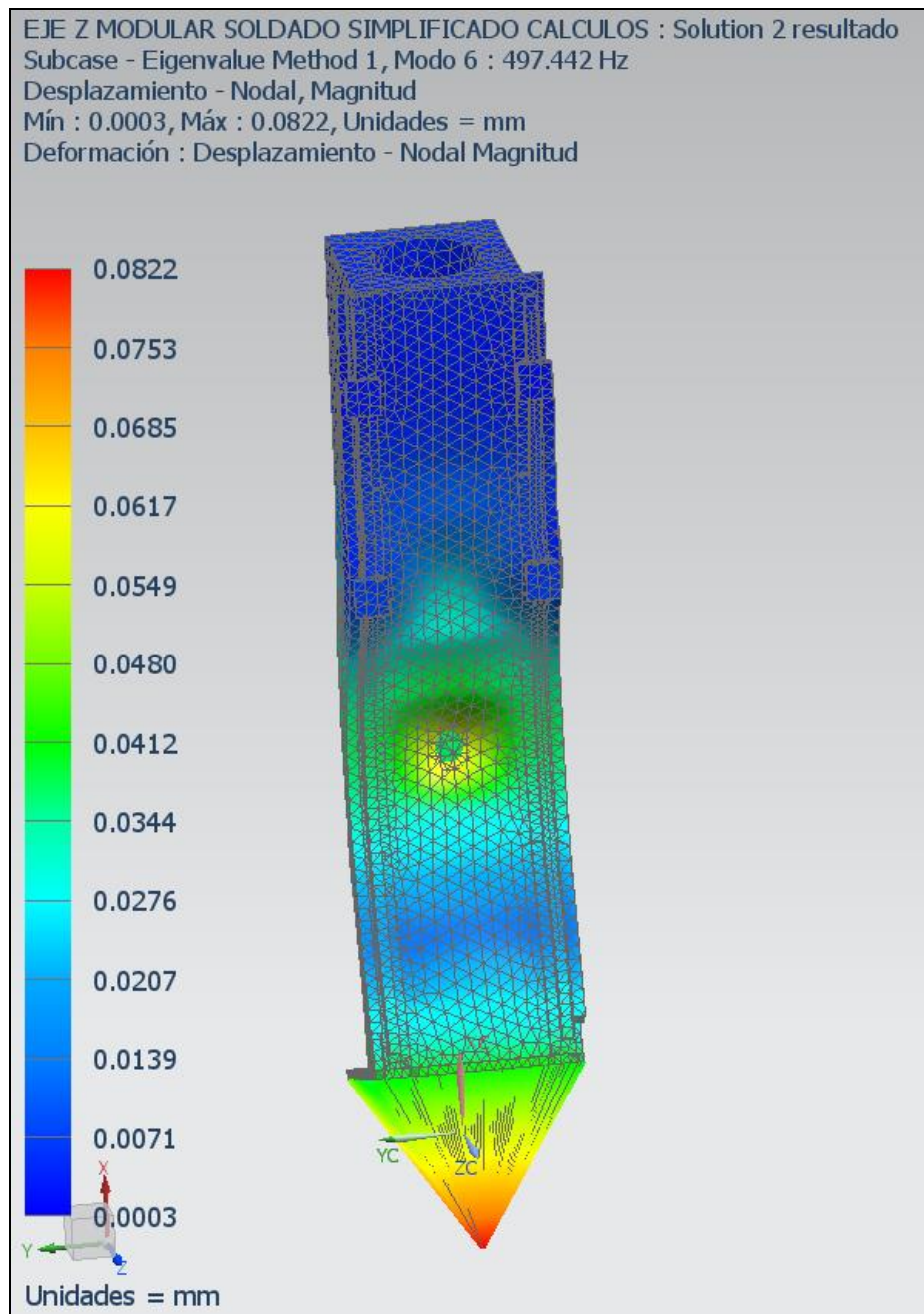


Fig 9.2.2.6

- MODO 7 = 510.486 Hz

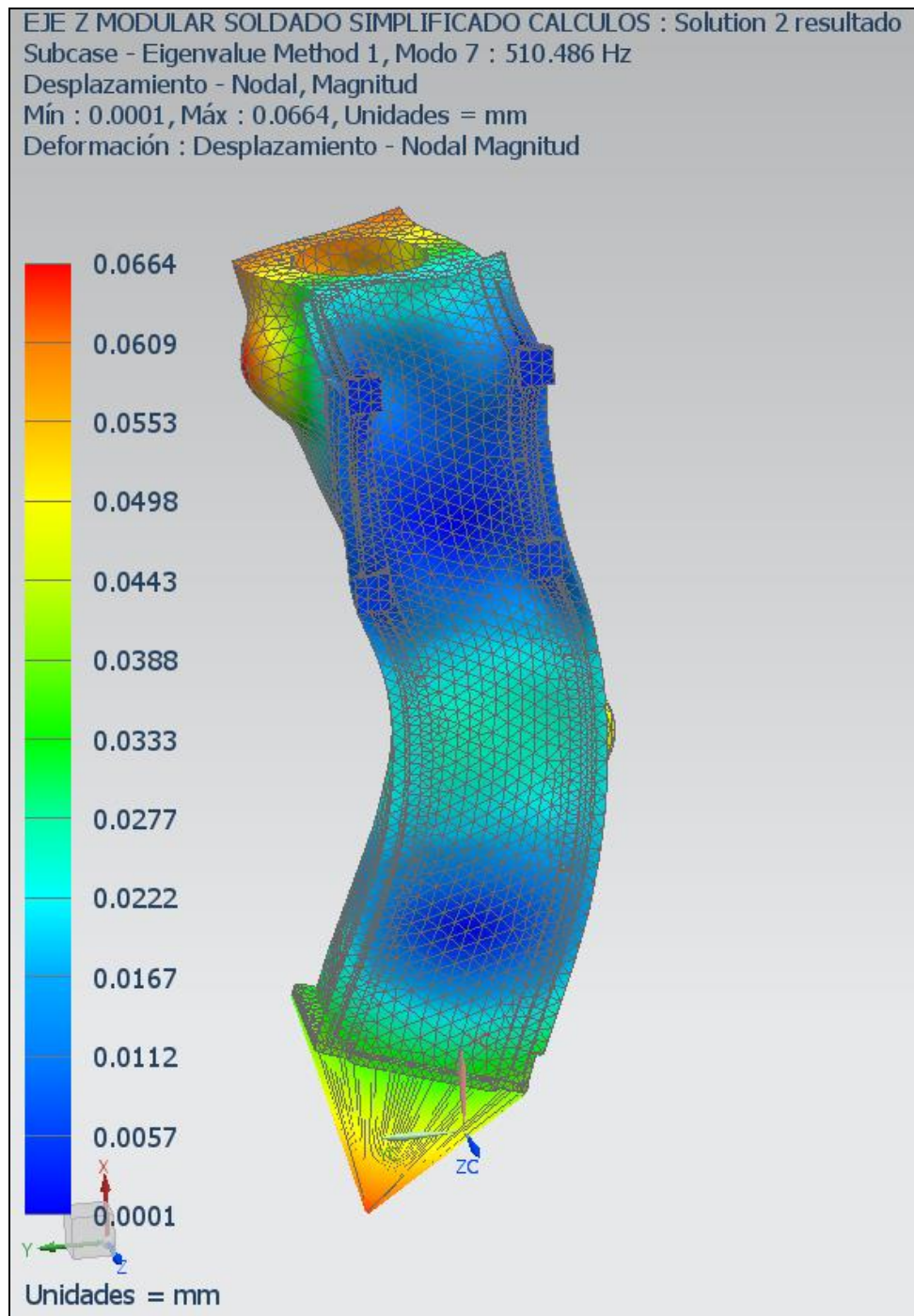


Fig 9.2.2.7

- MODO 8 = 668.763 Hz

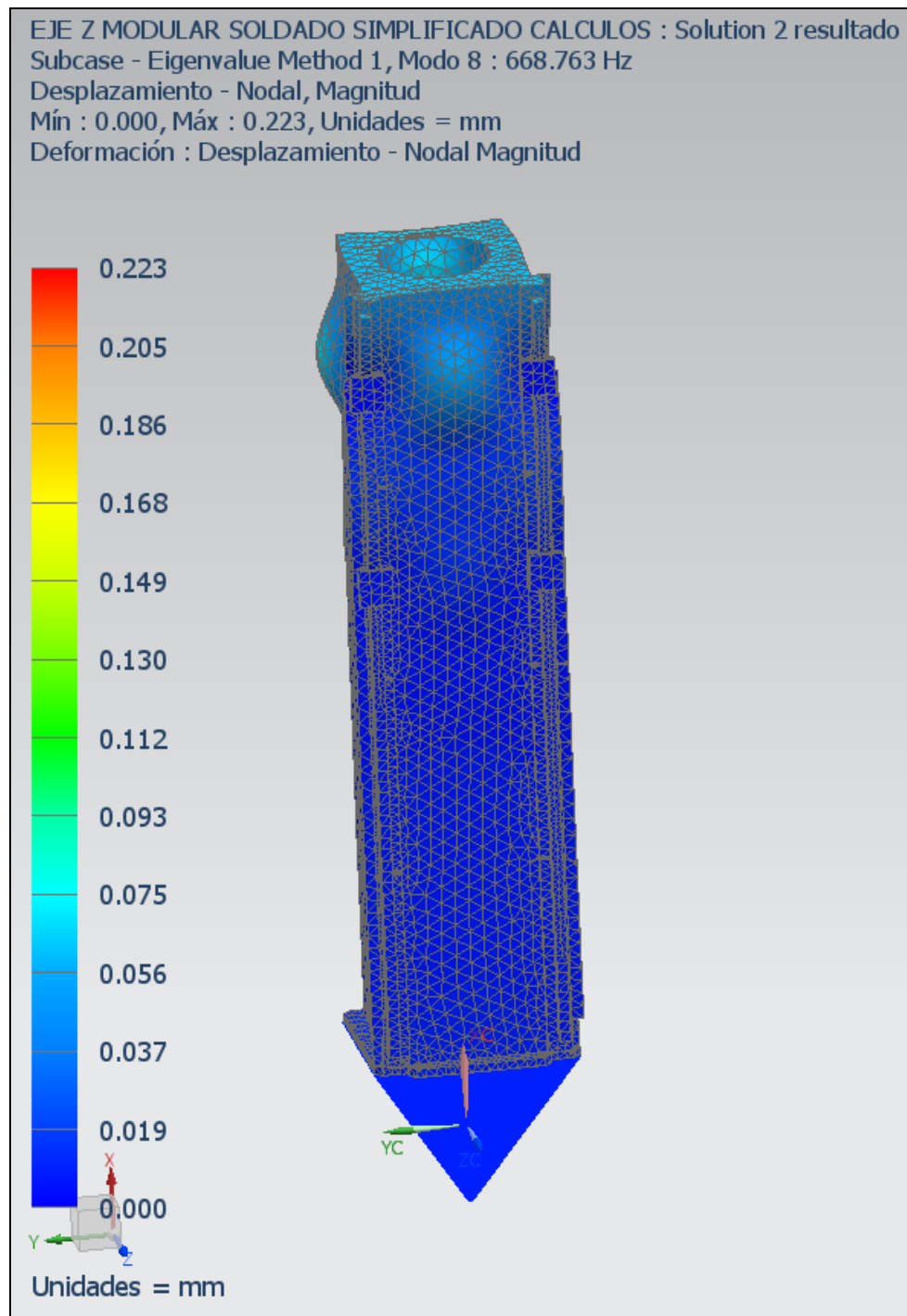


Fig 9.2.2.8

- MODO 9 = 679.763 Hz

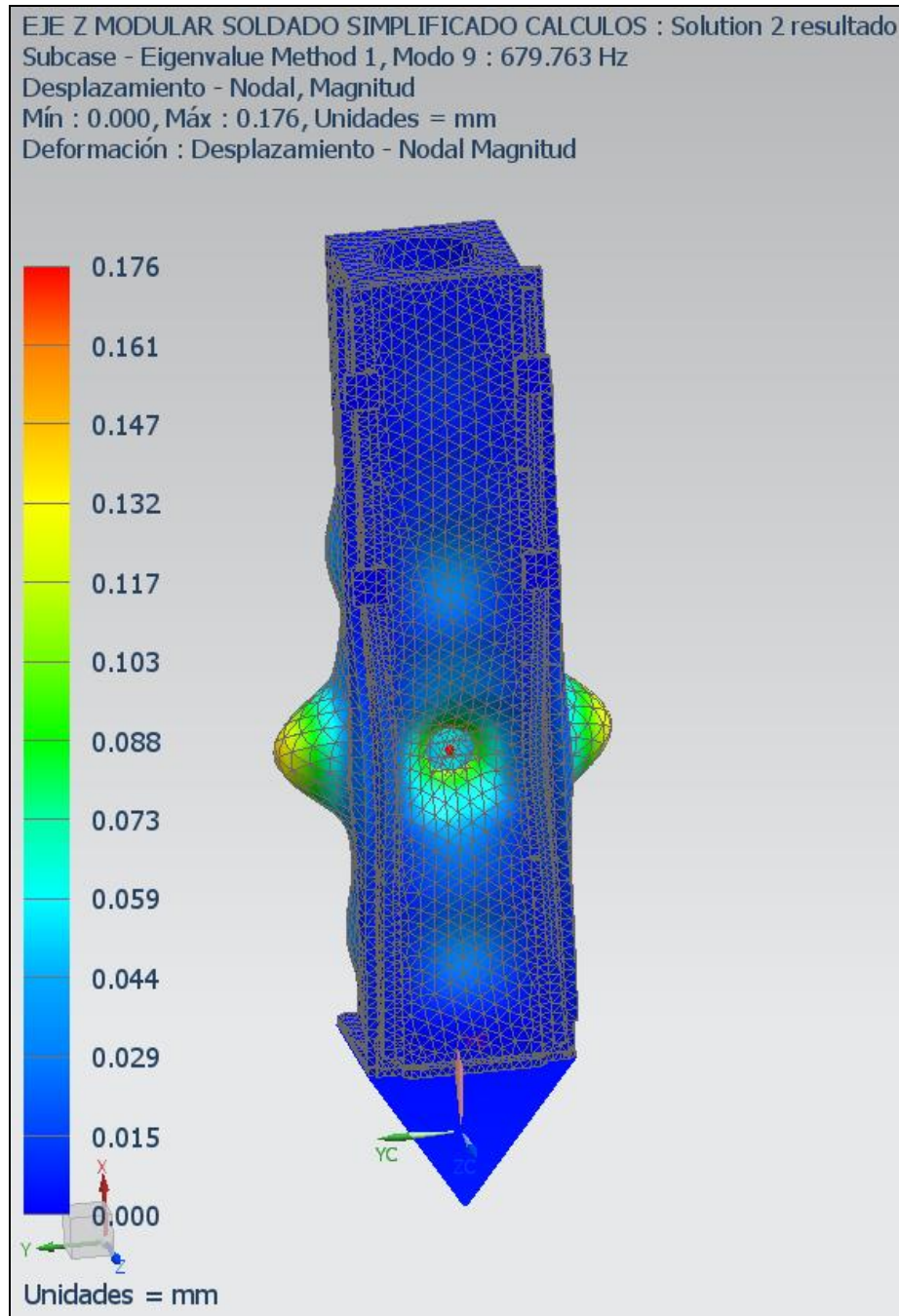


Fig 9.2.2.9

- MODO 10 = 697.159 Hz

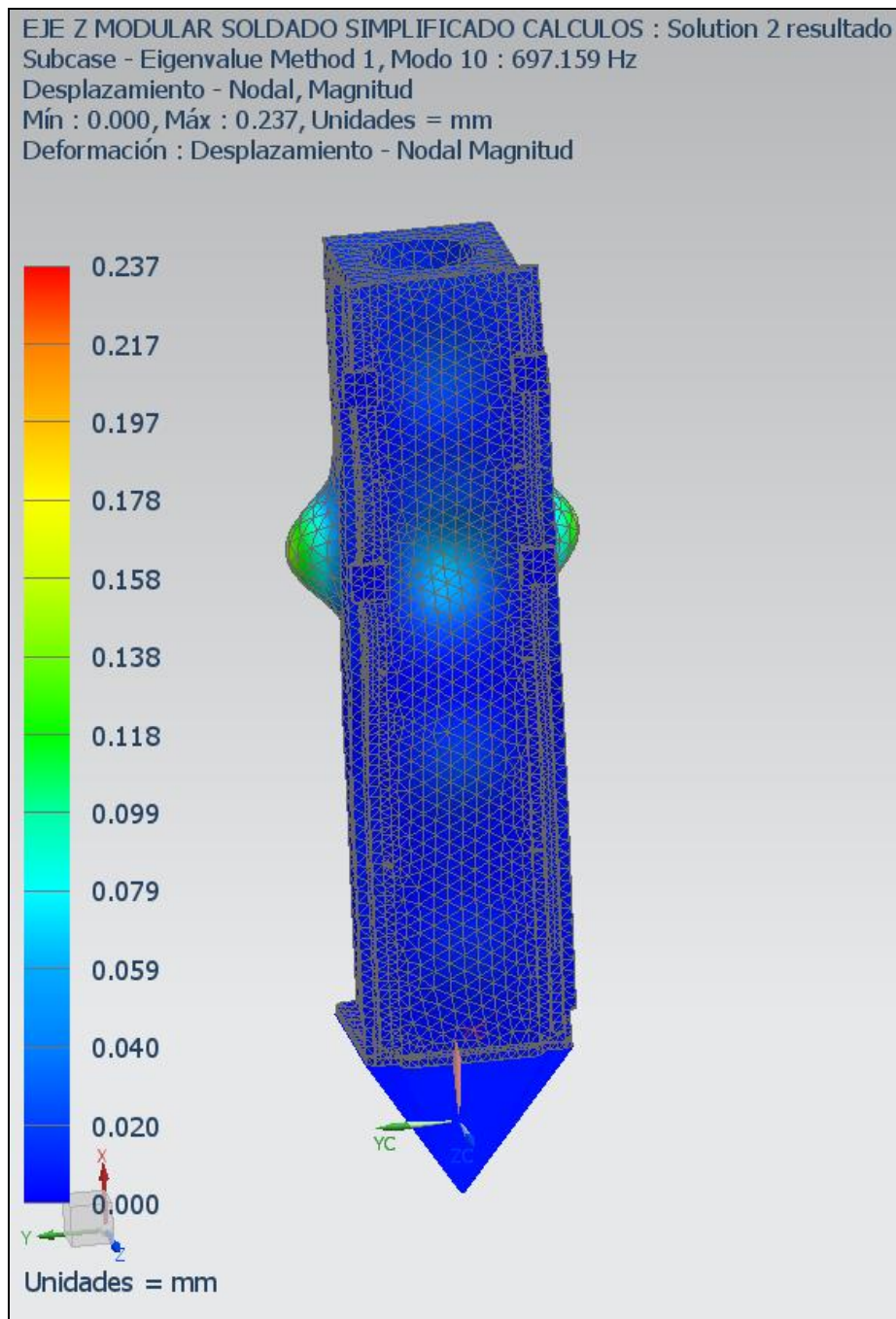
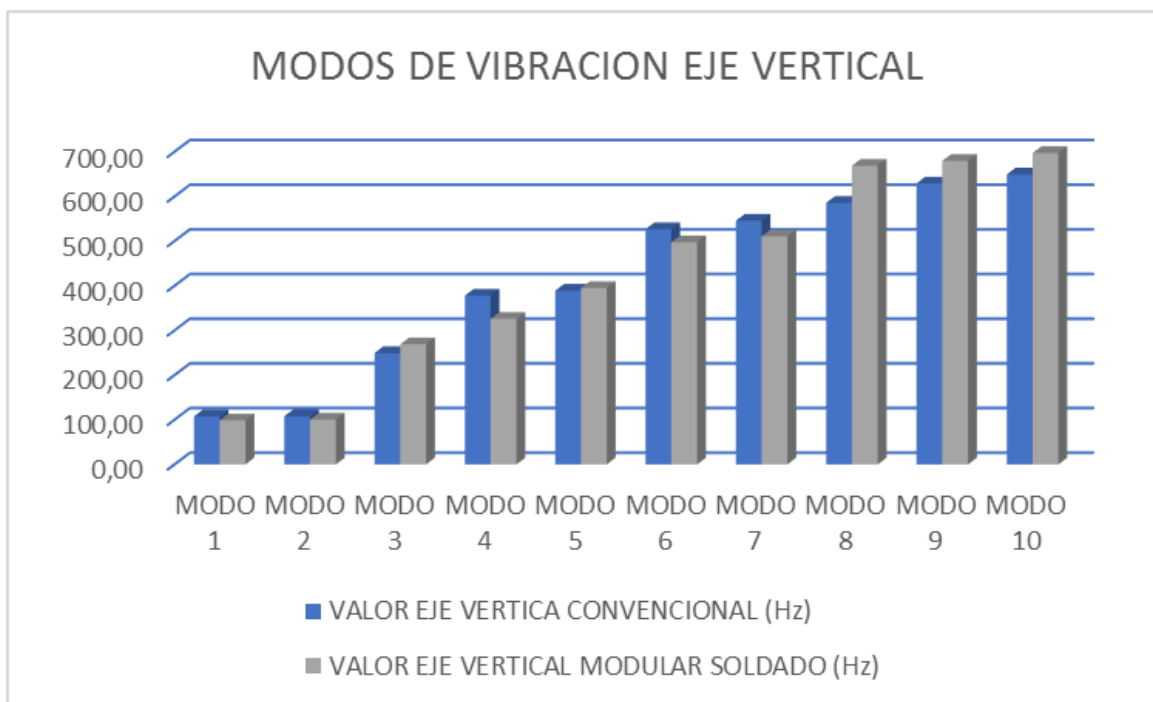


Fig 9.2.2.10

9.2.3. CUADRO RESUMEN MODOS DE VIBRACIÓN EJE VERTICAL CONVENCIONAL FRENTE EJE VERTICAL MODULAR SOLDADO

MODO DE VIBRACIÓN EJE VERTICAL		
	VALOR EJE VERTICAL CONVENCIONAL (Hz)	VALOR EJE VERTICAL MODULAR SOLDADO (Hz)
MODO 1	107,43	98,51
MODO 2	107,67	100,28
MODO 3	249,31	269,04
MODO 4	377,79	326,17
MODO 5	389,08	394,98
MODO 6	526,64	497,44
MODO 7	545,62	510,49
MODO 8	585,72	668,76
MODO 9	629,06	679,76
MODO 10	649,31	697,16

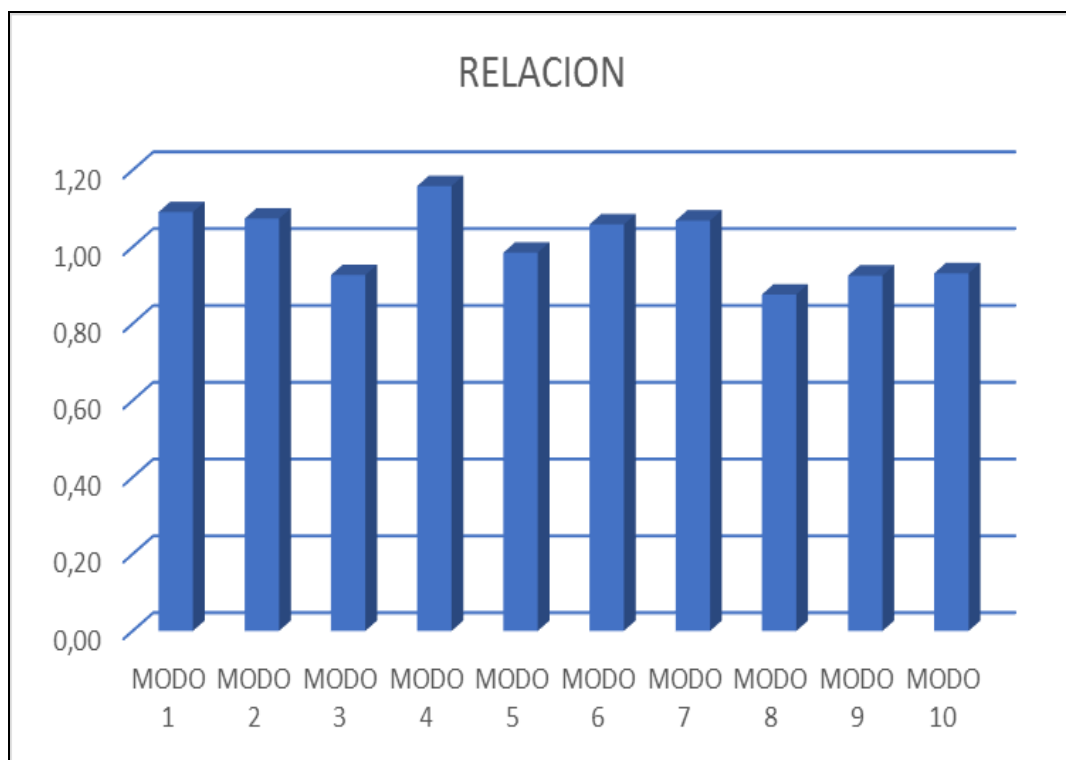
9.2.4. GRÁFICA RELACIONANDO LOS MODO DE VIBRACIÓN



9.2.5. RELACIÓN MODOS DE VIBRACIÓN

RELACIÓN MODOS DE VIBRACIÓN	
	RELACIÓN
MODO 1	1,09
MODO 2	1,07
MODO 3	0,93
MODO 4	1,16
MODO 5	0,99
MODO 6	1,06
MODO 7	1,07
MODO 8	0,88
MODO 9	0,93
MODO 10	0,93

9.2.6. GRÁFICO RELACIÓN MODOS DE VIBRACIÓN



9.3. SOLDADURAS

Para el cálculo de las soldadura utilizaré la norma EN 1993-1-8 que corresponde al de diseño de uniones en el eurocodigo 3.

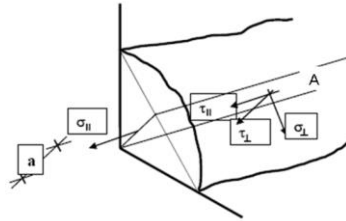


Fig. 9.3.1

Para la solución se ha escogido el metodo de las direcciones.

Habrà que verificar, en la unión, la resistencia, cumpliendo las siguientes soluciones.

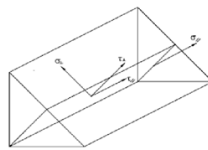


Fig 9.3.2

- $\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$
- $\sigma_{\perp} \leq 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$

σ_{\perp} = la tensión normal perpendicular a la garganta de la soldadura.

τ_{\perp} = la tensión tangencial (en el plano de garganta) perpendicular al eje de la soldadura.

τ_{\parallel} = la tensión tangencial (en el plano de garganta) paralela al eje de la soldadura.

f_u = la resistencia última del acero.

β_w = el coeficiente de correlación en función del tipo de acero.

γ_{M2} = el factor de seguridad = 1.25

[illegible]

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA

Primero se calcula el area de los planos de garganta de los cordones de soldadura sobre el plano de contacto.

$$A = \sum a_i \cdot l_i = 435 \cdot 7 + 435 \cdot 7 + 480 \cdot 7 + 414 \cdot 7 = 12348 \text{ mm}.$$

Posición del centro de gravedad lo obtenemos con Catia y se ve en la foto de la anterior página.

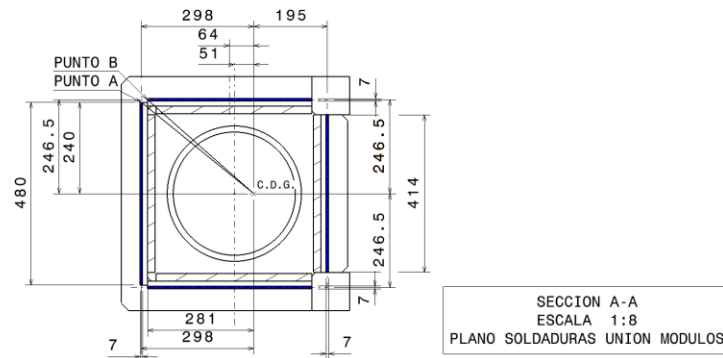


Fig. 9.3.4

Se calculan los momentos de inercia aplicando el teorema de Steiner.

$$I_Y = \left(\left(\frac{7 \cdot 480^3}{12} \right) + (7 \cdot 480) \cdot 0^2 \right) + \left(\left(\frac{7 \cdot 414^3}{12} \right) + (7 \cdot 414) \cdot 0^2 \right) + 2 \left(\left(\frac{435 \cdot 7^3}{12} \right) + (435 \cdot 7) \cdot 246.5^2 \right) = 475.971.104,00 \text{ mm}^4$$

$$I_Z = \left(\left(\frac{480 \cdot 7^3}{12} \right) + (7 \cdot 480) \cdot 298^2 \right) + \left(\left(\frac{414 \cdot 7^3}{12} \right) + (7 \cdot 414) \cdot 195^2 \right) + 2 \left(\left(\frac{435 \cdot 7^3}{12} \right) + (435 \cdot 7) \cdot 64^2 \right) = 529.579.771,00 \text{ mm}^4$$

$$I_P = I_Y + I_Z = 475.971.104,00 + 529.579.771,00 = 1.005.550.875 \text{ mm}^4$$

Esfuerzos en la sección y momentos respecto el C.D.G.

Cortantes

- $V_Y = 1000 \text{ N}$
- $V_Z = 1000 \text{ N}$

Axil

- $N_x = 1000 \text{ N}$

Torsor

- $M_{tx} = 1000 \text{ N} \cdot 51 \text{ mm} = - 51000 \text{ N} \cdot \text{mm}$

Momentos respecto a los ejes Y e eje Z

- $M_{ty} = 1000 \text{ N} \cdot 2325 \text{ mm} = 2325 \text{ kN} \cdot \text{mm}$
- $M_{tz} = (1000 \text{ N} \cdot 51 \text{ mm}) - (1000 \text{ N} \cdot 2325 \text{ mm}) = -2274 \text{ kN} \cdot \text{mm}$

A continuación, se determinan las tensiones en los puntos indicados A y B

Punto A

$$\tau_{\perp y1} = \frac{51000}{1.005.550.875} \cdot 240 = 0,01 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\perp y2} = \frac{1000}{0.08} = 0,08 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\perp total} = 0,01 + 0,08 = 0,09 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\parallel z1} = \frac{51000}{1.005.550.875} \cdot 298 = 0,02 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\parallel z2} = \frac{1000}{0.08} = 0,08 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\parallel total} = 0,02 + 0,08 = 0,11 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{I_y} \cdot r_z + \frac{M_z}{I_z} \cdot r_y$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{1000}{12348} + \frac{2325000}{475.971.104} \cdot 246,5 + \frac{-2274000}{529.579.771} \cdot 298 = -0,08 \text{ N/mm}^2$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{-0,08^2 + 3(0,09^2 + 0,11^2)} \leq \frac{480}{1,25 \cdot 0,85}$$

1.3 ≤ 451 Cumple la primera condición

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$-0,08 \leq 0,9 \frac{430}{0,851 \cdot 1,25}$$

-0,08 ≤ 363 cumple la segunda condición por lo tanto la soldadura sería segura.

Punto B

$$\tau_{\perp z1} = \frac{51000}{1.005.550.875} \cdot 246.5 = 0,01 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\perp z2} = \frac{1000}{0.08} = 0,08 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\perp total} = 0,01 + 0,08 = 0,09 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\parallel y1} = \frac{51000}{1.005.550.875} \cdot 281 = -0,01 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\parallel y2} = \frac{1000}{0.08} = 0,08 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\parallel total} = -0,01 + 0,08 = -0,07 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{I_y} \cdot r_z + \frac{M_z}{I_z} \cdot r_y$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{1000}{12348} + \frac{2325000}{475.971.104} \cdot 246,5 + \frac{-2274000}{529.579.771} \cdot 281 = 0.08 \text{ N/mm}^2$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{-0.08^2 3(0.09^2 + (-0.07^2))} \leq \frac{480}{1.25 \cdot 0.85}$$

0.3 ≤ 451 cumple la primera condición

$$\sigma_{\perp} \leq 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$0.08 \leq 0.9 \frac{430}{0.851 \cdot 1.25}$$

0.08 ≤ 363 cumple la segunda condición por lo tanto la soldadura sería segura.

10. ÍNDICE DE PLANOS.

Ver la carpeta [3.- EJE VERTICAL MODULAR SOLDADO CALDERERÍA \(PLANOS Y 3D\)](#) en la que están adjuntos los planos en formatos de Catia, formato PDF y formato JPG.

La acotación de soldadura sigue la **norma UNE EN ISO 22553**.

PLANO 1: Módulo intermedio soldado calderería.

PLANO 2: Despiece partes de calderería módulo soldado intermedio.

PLANO 3: Módulo superior soldado calderería.

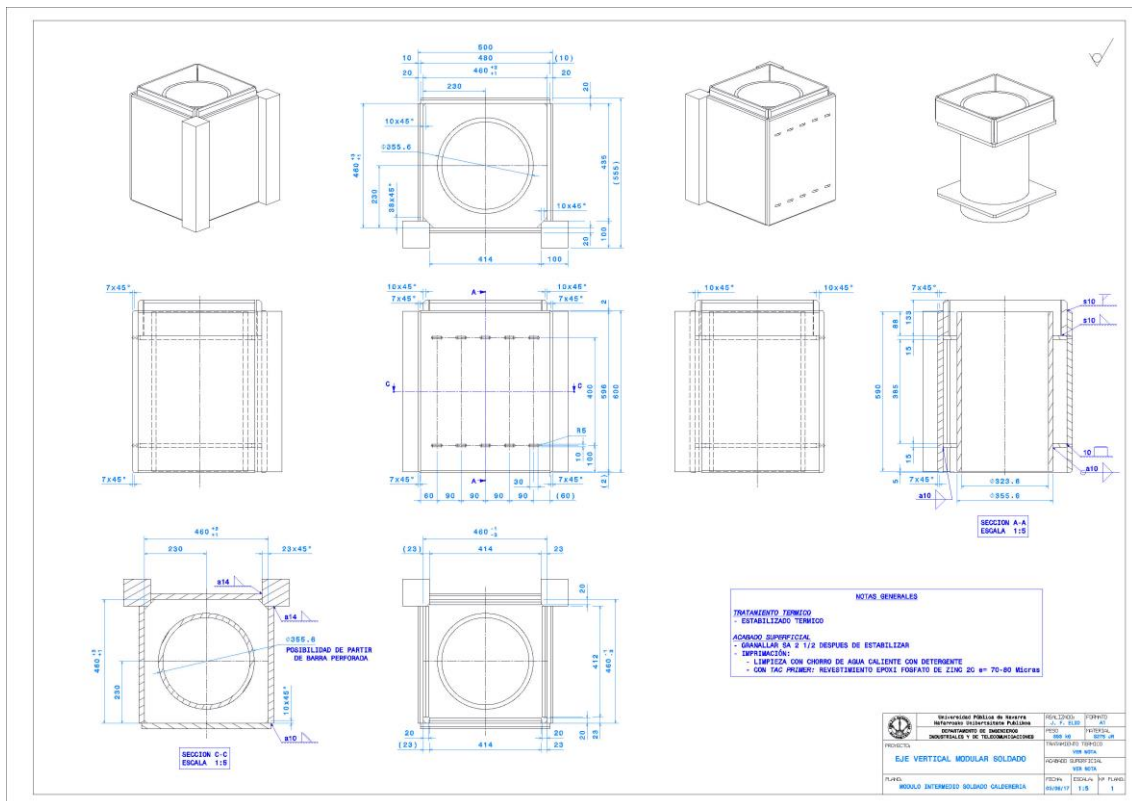
PLANO 4: Despiece partes de calderería módulo soldado superior.

PLANO 5: Módulo inferior soldado calderería.

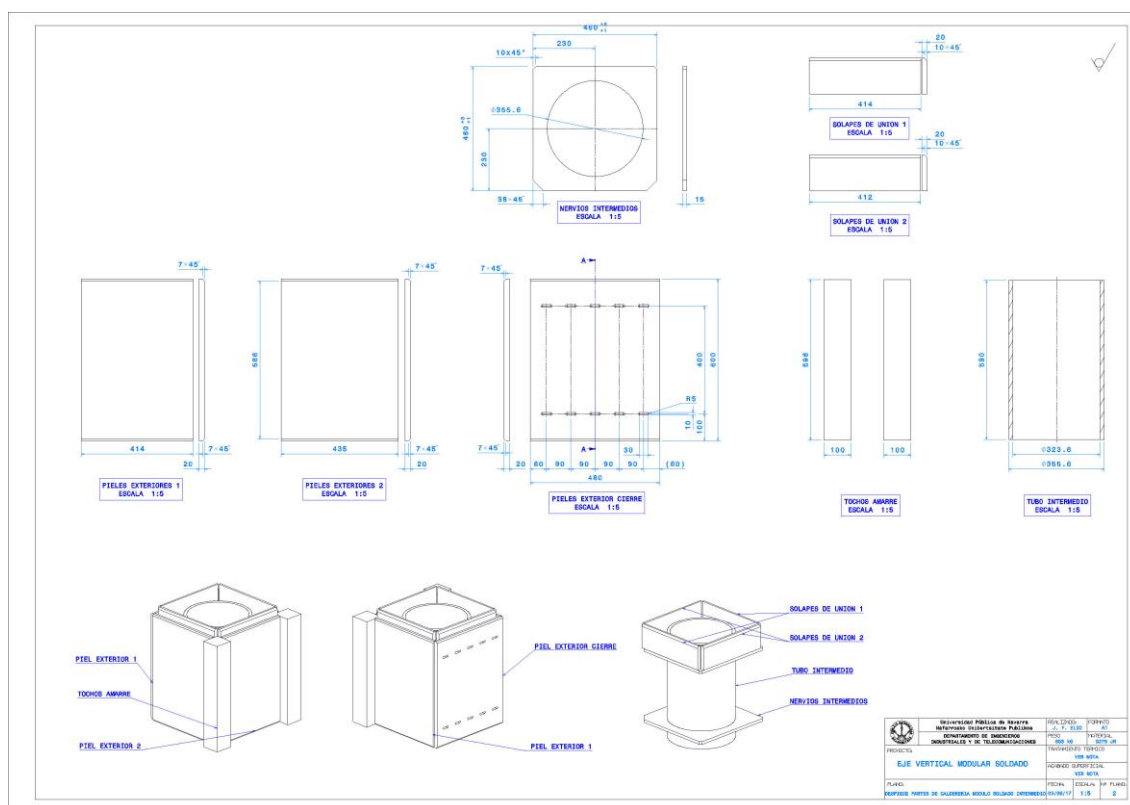
PLANO 6: Despiece partes de calderería módulo soldado inferior.

PLANO 7: Conjunto eje vertical modular soldado.

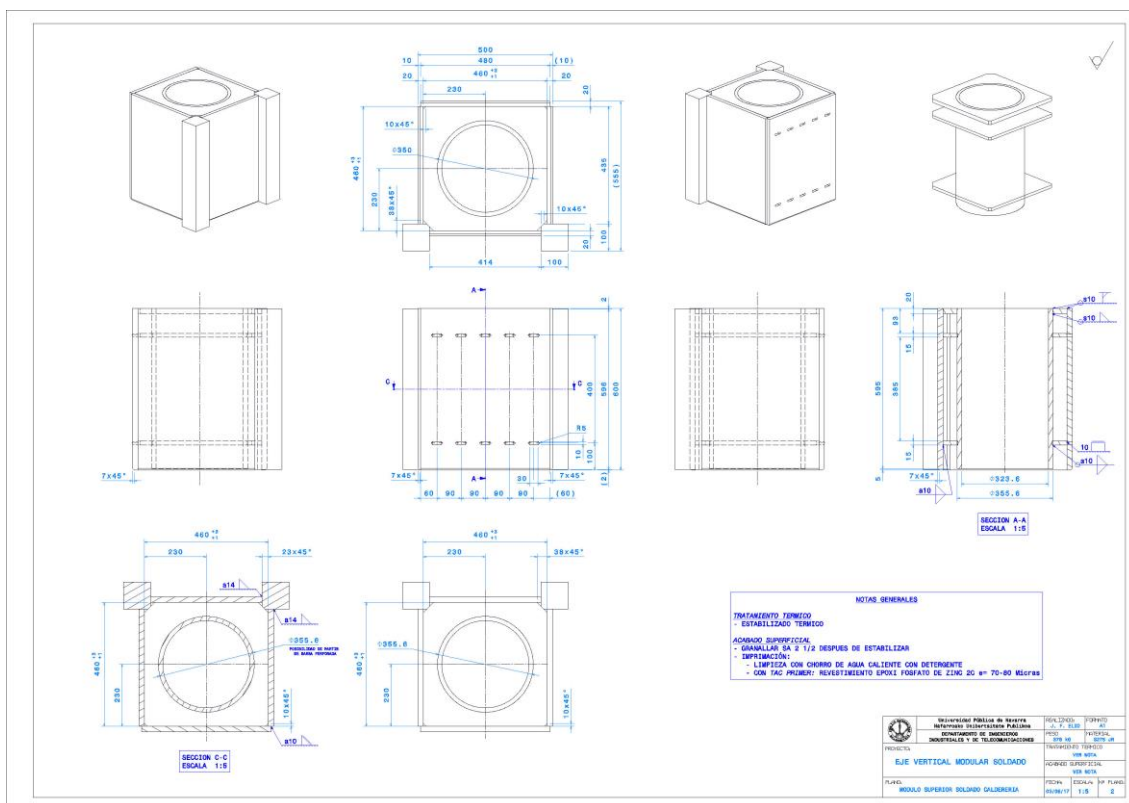
10.1. PLANO 1: Módulo intermedio soldado calderería.



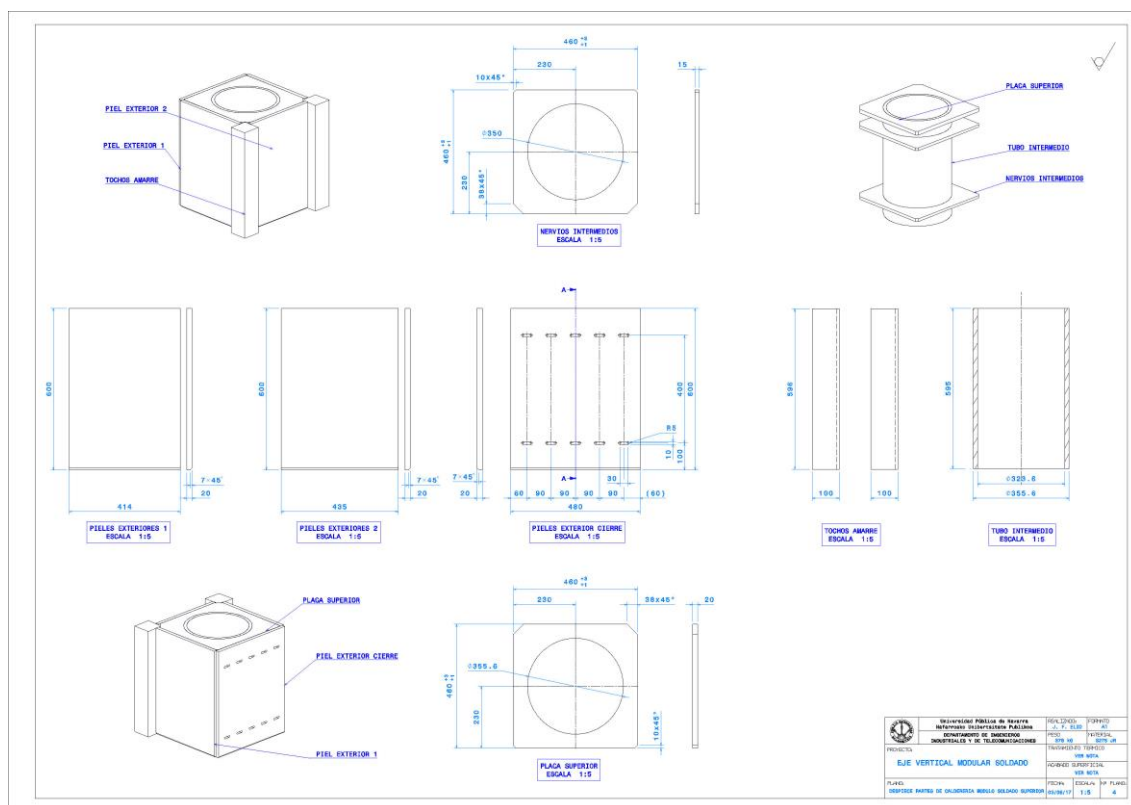
10.2. PLANO 2: Despiece partes de calderería módulo soldado intermedio.



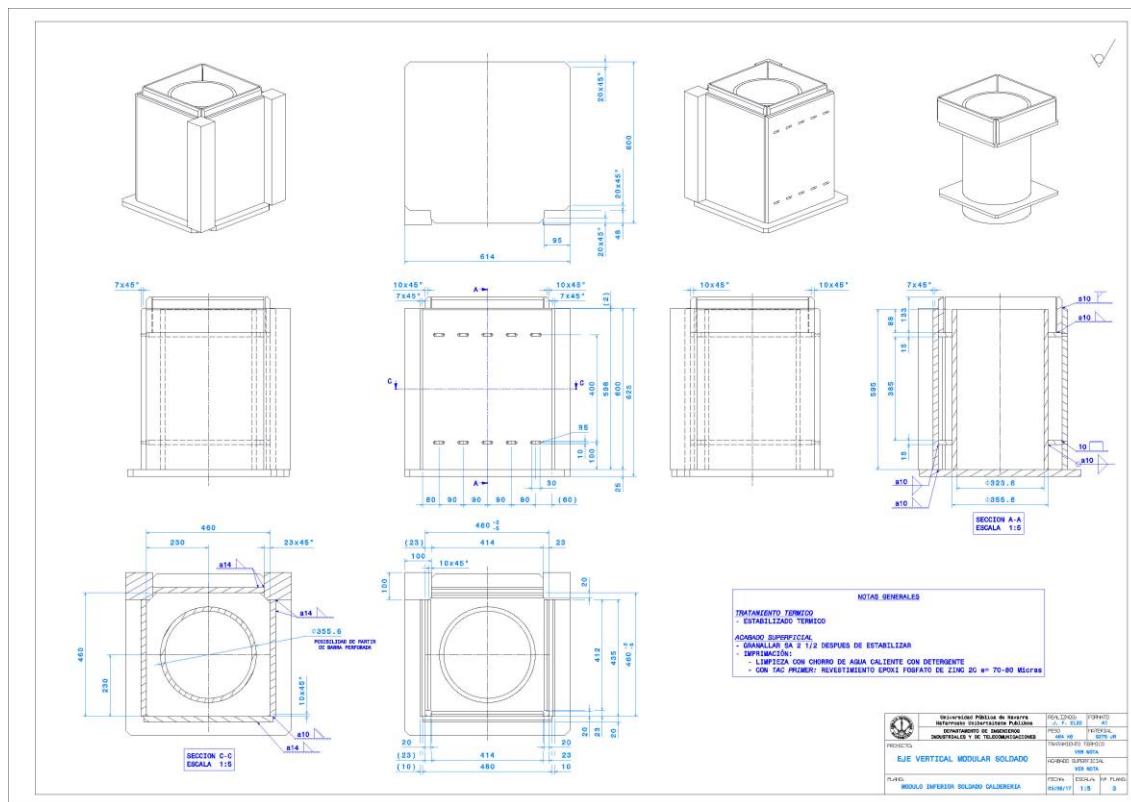
10.3. PLANO 3: Módulo superior soldado calderería.



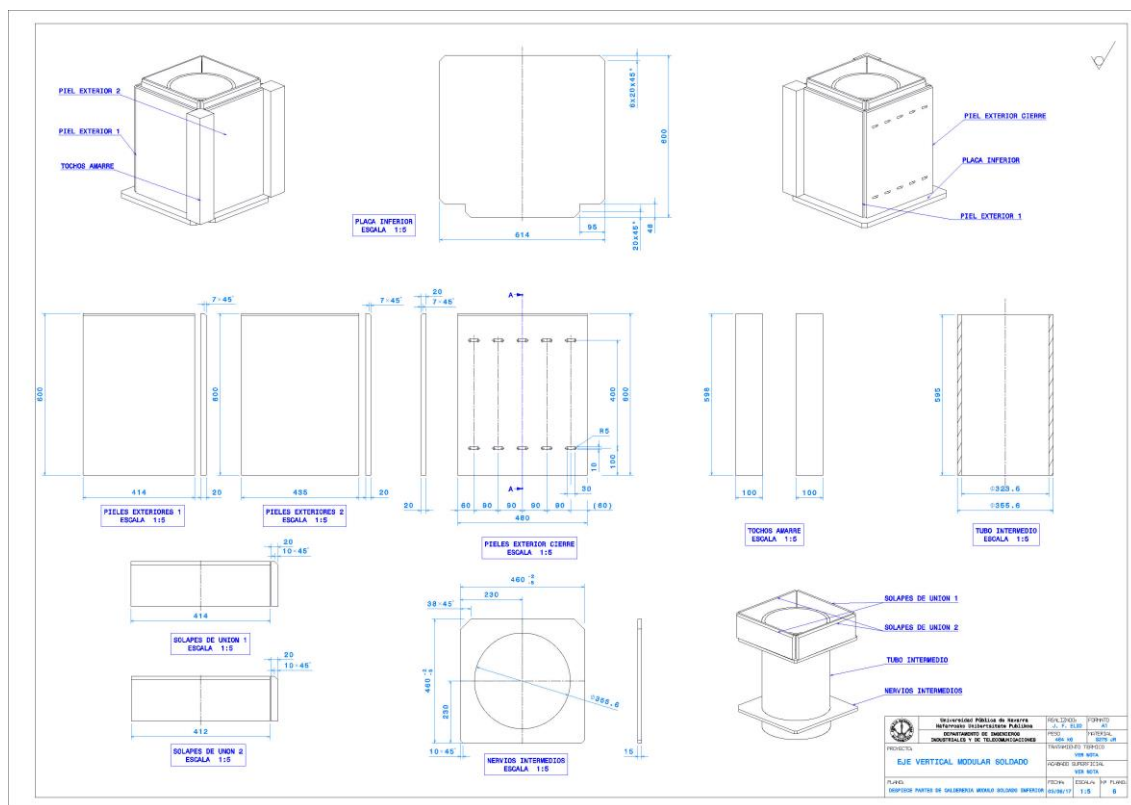
10.4. PLANO 4: Despiece partes de calderería módulo soldado superior.



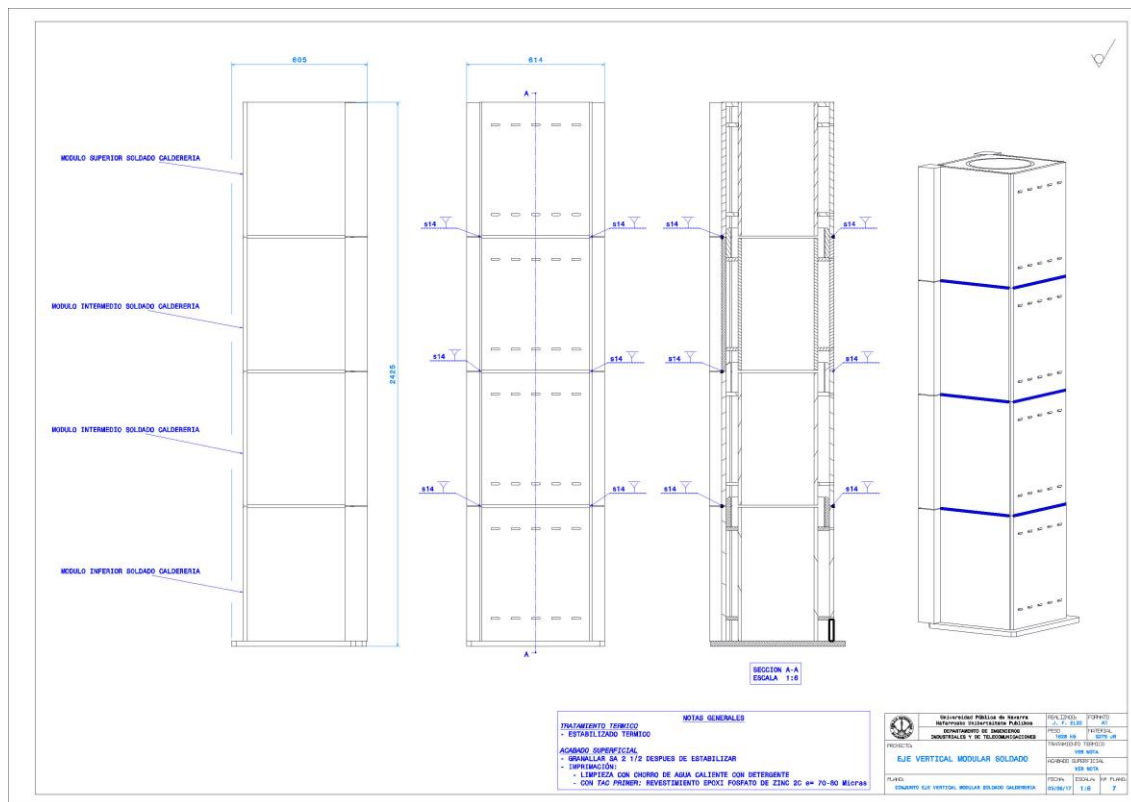
10.5. PLANO 5: Módulo inferior soldado calderería



10.6. PLANO 6: Despiece partes de calderería módulo soldado inferior.



10.7. PLANO 7: Conjunto eje vertical modular soldado.



11. DISEÑO Y CÁLCULO DE LA TECNOLOGIA DE SOLDEO

11.1. ELECCIÓN DEL SISTEMA DE SOLDEO MIG/MAG

El sistema elegido es mediante **soldeo MIG/MAG** y con *alambre tubular*, el proceso de soldadura, en el cual el calor necesario para la soldadura es generado por un arco sólido desnudo que se alimenta de forma continua automáticamente, y se convierte en el metal depositado según se consume. El electrodo, arco, metal fundido y zonas adyacentes del metal base quedan protegidas de la contaminación de los gases atmosféricos mediante un flujo de gas que se aporta por la boquilla de la pistola, concéntricamente, al electrodo.

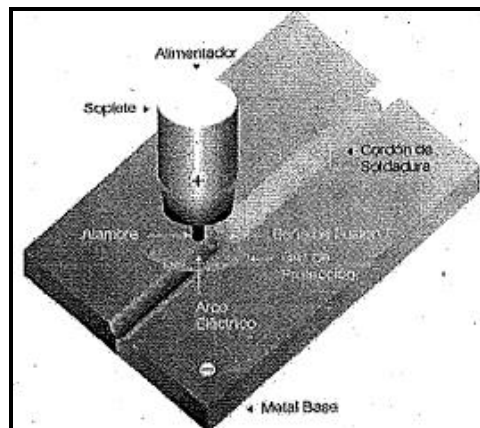


Fig. 11.1.1

11.2. INSTALACIÓN PARA SOLDADURA MIG.

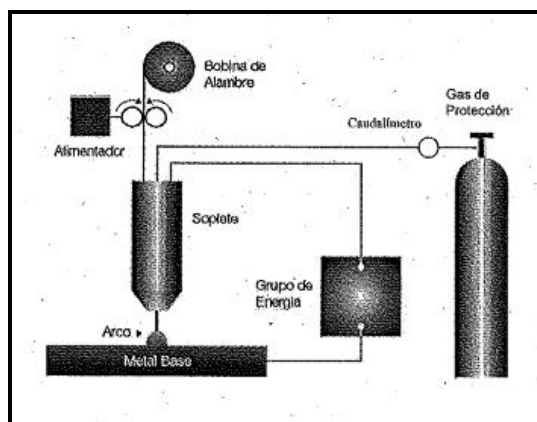


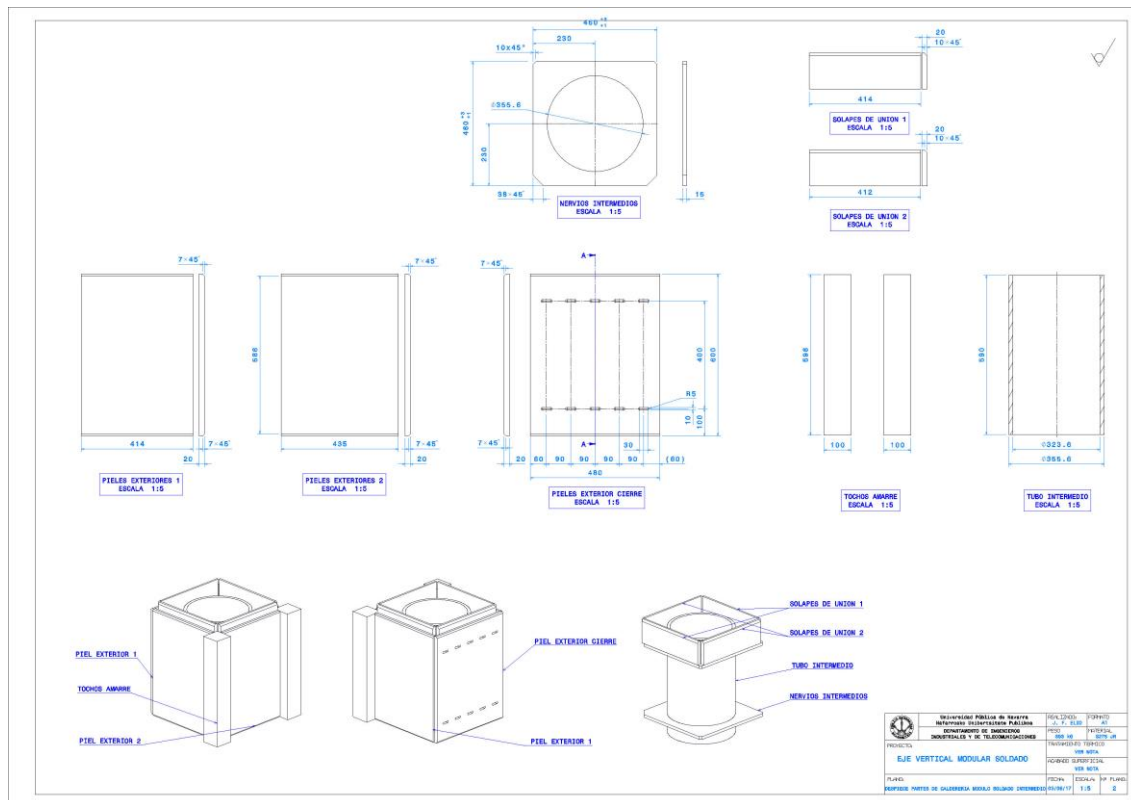
Fig 11.2.1

11.2.1. LA ELECCIÓN DE ESTE SISTEMA ES DEBIDO A LAS SIGUIENTES VENTAJAS QUE PRESENTA.

- Es el único proceso con arco eléctrico y electrodo consumible que puede soldar todos los metales y aleaciones que se utilizan comercialmente.
- La soldadura se puede hacer en todas las posiciones, una característica que no tiene la soldadura por arco sumergido.
- Las velocidades de deposición son mucho más elevadas que las obtenidas con el proceso con electrodo revestido.
- En comparación con el proceso de electrodo revestido, por utilizar una alimentación continua del electrodo, se logra unas velocidades de soldadura y deposición más elevadas, con incrementos de la productividad. Puede adaptarse en soldaduras automáticas y robots.
- Puede realizarse soldaduras de una gran longitud sin paradas.
- La limpieza, que es necesario realizar después de la soldadura, es mínima debido a no producir una escoria.

11.3. DIMENSIONES DE PLACAS A SOLDAR

Se hace para el caso del módulo soldado intermedio como se ve en el plano que está a continuación, para el resto sería el mismo proceso ya que el espesor de las placas sería similar.

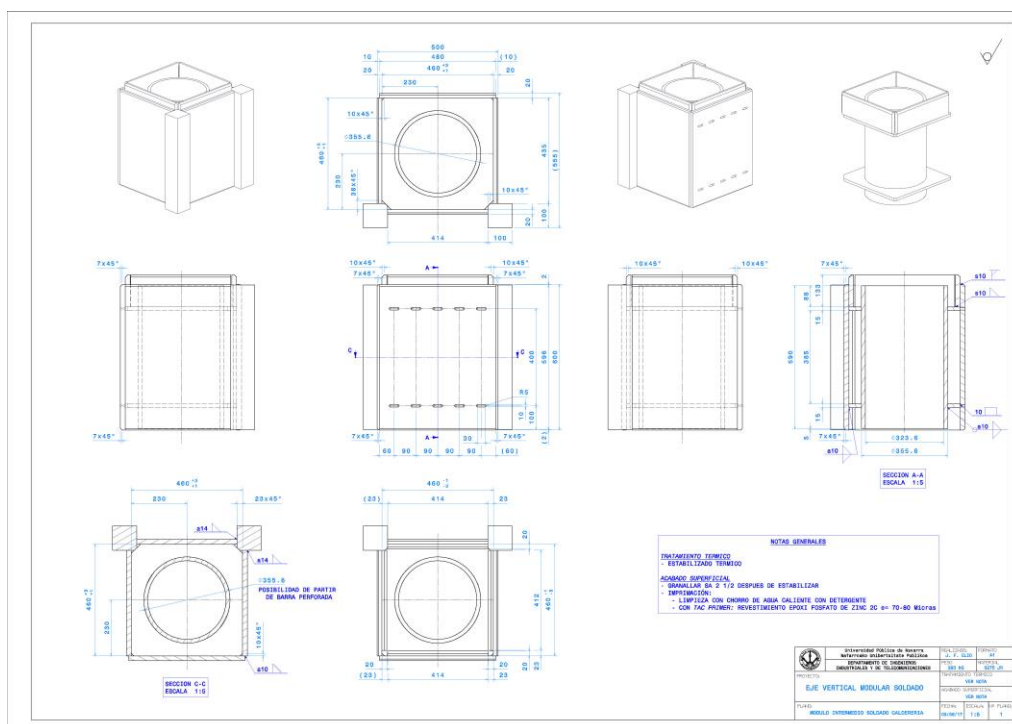


11.4. GEOMETRIA DE SOLDADURAS A SOLDAR

Se representa a continuación las geometrías de borde de soldadura a realizar según la norma UNE EN ISO 9692-1:2014, mediante el proceso de soldeo automático bajo protección gaseosa (MAG), referenciado bajo el número 135 (en la columna correspondiente según la norma ISO 4063) y se ve en el plano de ensamblaje de las distintas placas (plano de calderería del módulo) en el que se representan los símbolos de soldadura según la norma UNE EN ISO 2553: 2014



Plano de soldadura módulo intermedio soldado.

El resto de modulos serían similares así que se podrían aplicar los mismos principios.



SE DISTINGUEN 4 PRINCIPALMENTE:

1. Soldadura a tope en ángulo a 45° según norma UNE EN ISO 2553



10	Soldadura en ángulo		
----	---------------------	---	---

A continuación, se calcula el área del material de aporte,

$$1.1. a10 \rightarrow A_{MA} = \frac{10 \cdot 10}{2} = 50 \text{ mm}^2$$

$$1.2. a14 \rightarrow A_{MA} = \frac{14 \cdot 14}{2} = 98 \text{ mm}^2$$

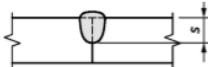

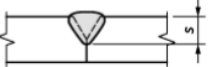

2. Soldadura a tope en bisel simple con talón de raíz amplio a 45° según norma UNE EN ISO 2553

5	Soldadura a tope en bisel simple con talón de raíz amplio ^b		
---	--	---	---

A continuación, se calcula el área del material de aporte,

$$2.1. s10 \rightarrow A_{MA} = \frac{10 \cdot 10}{2} = 50 \text{ mm}^2$$

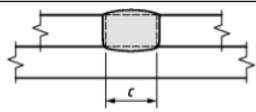

3. Soldadura a tope con penetración parcial a 45° según norma UNE ISO EN 2553:2014

1.2	Penetración parcial			<p>s = profundidad de penetración.</p> <p>La letra s se sustituye por la dimensión requerida.</p> <p>NOTA La ausencia de dimensiones a la derecha del símbolo elemental indica que la soldadura a tope debe ser continua.</p>
				

A continuación, se calcula el área del material de aporte,

$$s14 \rightarrow A_{MA} = +2\left(\frac{14 \cdot 14 \cdot \tan(22.5^\circ)}{2}\right) = 81 \text{ mm}^2$$

4. Soldadura tipo ojal llegado completo según norma UNE ISO EN 2553:2014

4.1	Llenado completo			<p>c = anchura requerida del ojal en la superficie de contacto</p> <p>s = profundidad de llenado, empleado si el ojal ha de ser parcialmente llenado</p>
-----	------------------	---	--	--

A continuación, se calcula el área del material de aporte,

$$c10 \rightarrow A_{MA} = 10 \cdot 20 = 200 \text{ mm}^2$$

MATERIALES DE APORTE

11.4.1. MATERIAL BASE

El material base utilizado es el **S 275 JR** cuyas características serían:

- Composición Química del Material Base

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL METAL BASE EN %							
MATERIAL	C	Mn	Si	Cr	Cu	S	P
S 275	0,155	0,6	0,25	0,17	0,02	0,035	0,029

- Características Mecánicas del Material Base

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL METAL BASE	
Módulo de Elasticidad E	210000 Mpa
Módulo de Poisson (ν)	0,3
Límite elástico (σ_e)	275 Mpa
Límite Plástico (σ_p)	340-470 Mpa
Coefficiente de dilatación térmica (α)	12 x 10E-6
Conductividad térmica (K)	50 (W/°Cxm)
Peso específico (γ)	78,5 KN/m2

11.4.2. MATERIAL DE APORTE

Considerando que las soldaduras se van realizar mediante el proceso de soldeo automático bajo protección gaseosa (MAG), se eligen el tipo de Metal de aporte el FILCORD C es un hilo de soldadura solido MAG de tipo G3Si1 / ER70S-6 recubierto de cobre. Adecuado para la soldadura con CO₂ y gases de protección mixtos basados en el Ar. En este caso sería el FERROLINE C18

El gas de protección FERROLINE C18 es una mezcla de 82% Ar + 18% CO₂. que pertenecen al grupo según ISO 14175 M21.

El metal de aporte FILCORD C (G3Si1 / ER70S-6)

- Composición Química del Metal de Aporte

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL DE APORTE EN %					
C	Mn	Si	P	S	CU
0.06-0.13	1.3-1.6	0.7-1.00	<0.025	<0.025	

- Características mecánicas del metal de aporte

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS					
METAL BASE	Rm (N/mm ²)	Rs (N/mm ²)	E%Sd	Kv J -20°C	Kv J -40°C
FILCORD C	510-560	≥420	≥24	≥70	≥50

11.5. CÁLCULO DE PARAMETROS TECNOLOGICOS DE LA SOLDADURA MAG

11.5.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE TRANSFERENCIA

La selección del tipo de transferencia sería por arco largo o “spray” en el cual el extremo del alambre se afila, las gotas son iguales o menores que el diámetro de alambre, y su transferencia se realiza desde el extremo del alambre al baño fundido en forma de una corriente axial de gotas finas, de cientos por segundo. Las gotas saltan una a continuación de otra, pero no están interconectadas.

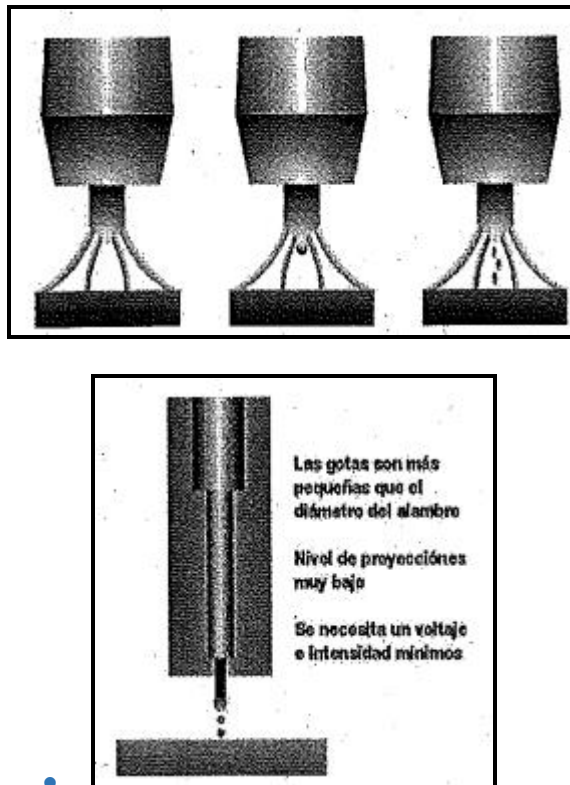


Fig.11.5.1.1

Debido al afilado del extremo del alambre la densidad de corriente (amps/mm²) y la fuerza Pinch son muy elevados. Esto hace que las gotas sean mas pequeñas que el diametro del alambre. Las gotas son aceleradas por el campo magnético en vez de transferirse por gravedad como en el arco globular y son absorbidas dentro del baño de fusión en vez de salpicar.

La transferencia por arco largo, donde realmente tiene ventajas, es en espesores gruesos y posición horizontal y cornisa. Todos los aceros, (al carbono e inoxidables) y la mayoría de los otros metales, pueden soldarse con arco largo.

Los gases empleados para arco largo tienen un contenido inferior de gases activos (CO_2 y O_2) que los empleados para arco corto. La mayoría contienen 85-90% de argón, siendo normalmente el resto de los componentes; CO_2 y O_2 y en algunas ocasiones, pueden contener pequeñas cantidades de helio, para incrementar la energía del arco, y de hidrógeno (aceros inoxidables austeníticos).

La transferencia por arco largo es un proceso limpio y de elevada eficiencia, se pueden emplear todos los diámetros de alambre, los rangos de intensidades van desde los 175 a los 500 amps y cuando el equipo está ajustado correctamente, no hay apenas salpicaduras y el 97-98% del alambre soldado es depositado en el baño de fusión.

11.5.2. PARÁMETROS SEGÚN EL TIPO DE TRANSFERENCIA

11.5.2.1. LA POLARIDAD DE LA CORRIENTE ELECTRICA

La dirección del flujo de corriente en el circuito de soldadura es expresada en término de POLARIDAD, en la mayoría de casos del soldeo GMAG es de POLARIDAD INVERTIDA O INDIRECTA ($\text{DC}+$), en la que el cable del porta-electrodo o pistola es conectado al polo positivo (+) de la fuente y el cable de tierra al polo negativo. Con este tipo de polaridad se obtiene un arco estable, con buena transferencia de metal de aportación, pocas proyecciones, un cordón de soldadura de buenas características y gran penetración.

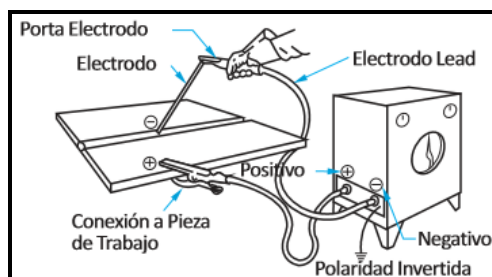


Fig.11.5.2.1

La polaridad (DC-) casi no se utiliza porque, aunque la tasa de deposición es mayor generalmente, solo se consigue transferencia globular.

La corriente alterna no se utiliza en el soldeo MIG/MAG ya que el arco se hace inestable y tiende a extinguirse.

11.5.2.2. DIÁMETRO DEL HILO

- El diámetro del hilo sería $d_e = 2\text{mm}$.

11.5.2.3. INTENSIDAD DE LA CORRIENTE ELECTRICA

- $I_s = -67 d_e^2 + 370 d_e - 78 [A]$

Como el diámetro del electrodo es de 2mm.

- $I_s = -67 \cdot 2^2 + 370 \cdot 2 - 78 [A] = 394 \text{ A}$

11.5.2.4. VOLTAJE DEL ARCO ELECTRICO

- $U_a = 15 + 0.05 I_a [V]$

$$I_a = 15$$

- $U_a = 15 + 0.05 \cdot 394 [V] = 347 \text{ V}$

11.5.2.5. VELOCIDAD DEL PROCESO DE SOLDEO

$$\bullet \quad V_s = \frac{100 \cdot A_d}{6 \cdot F_t \cdot \rho} [cm/min]$$

En la que:

- A_d = es la tasa de metal fundido (kg/hora)
 - $A_d = 3 \cdot 10^{-5} I_s^2 + 10^{-3} I_s - 0.5 [kg/hora]$
 - $A_d = 3 \cdot 10^{-5} \cdot 394^2 + 10^{-3} \cdot 394 - 0.5 = 5.55 [kg/hora]$
- F_t = Área de una pasada de metal fundido, teniendo en cuenta que el $d_e = 2mm$.
 - $F_t = 0.2Cm^2 = 20 mm^2$
- $\rho = 7.83 (g/cm^3)$ densidad del material de aporte.

Port tanto queda:

$$\bullet \quad V_s = \frac{100 \cdot 5.55}{6 \cdot 0.2 \cdot 7.83} = 59.06 [cm/min]$$

11.5.2.6. VELOCIDAD DE SUMINISTRO DE ALAMBRE

$$V_e = 400 \cdot \frac{F_t \cdot V_s}{\pi \cdot d_e^2} [cm/min]$$

Quedaría

$$V_e = 400 \cdot \frac{0.2 \cdot 59}{\pi \cdot 2^2} = 375.6 [cm/min]$$

11.5.2.7. FLUJO DE GAS DE PROTECCIÓN

El caudal de gas se mide en l/min = 10 x diámetro del electrodo o alambre en mm en este caso como es de 2mm será de alrededor de 20 l/min.

$D_G = (18 \dots 20)$ l/min cuando la intensidad de corriente eléctrica $I_s = (150 \dots 400)$ A.

11.5.2.8. ENERGIA EN EL PROCESO DE SOLDEO

$$E_L = 60 \cdot \eta \cdot \frac{U_a \cdot I_s}{v_s} [J/cm]$$

En la η es el coeficiente de eficacia del proceso de soldeo $\eta = 0.6 \dots 0.8$. Poniéndonos del lado de la seguridad se elige $\eta = 0.6$.

$$E_L = 60 \cdot 0.6 \cdot \frac{34.7 \cdot 394}{59} = 8342 [J/cm]$$

11.5.2.9. TABLA RESUMEN

SOLDADURA	TIPO 1.1	TIPO 1.2	TIPO 2.1	TIPO 3.1	TIPO 4.1
DIÁMETRO DEL HILO EN (mm)	2	2	2	2	2
ÁREA DEL CORDÓN (mm ²)	50	98	50	81	100
N.º DE PASADAS (20mm ²) EN CADA PASADA	3	5	3	4	5
INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA (A)	394	394	394	394	394
VOLTAJE DEL ARCO ELÉCTRICO (V)	347	347	347	347	347
TASA DE METAL FUNDIDO EN UNA PASADA (Kg/hora)	5,55	5,55	5,55	5,55	5,55
VELOCIDAD DEL PROCESO DE SOLDEO (cm/mim)	59	59	59	59	59
VELOCIDAD DE SUMINISTRO DE CABLE (cm/mim)	376	376	376	376	376
FLUJO DE GAS DE PROTECCIÓN (l/mim)	20	20	20	20	20
ENERGIA LINEAR DEL PROCESO (J/cm)	8342	8342	8342	8342	8342

Tabla 11.5.2.9

11.5.2.10. TEMPERATURA DE PRE-CALENTAMIENTO EN LAS UNIONES

El objetivo del precalentamiento es evitar una disipación demasiado rápida del calor proporcionado por el arco eléctrico, que ocasione una transformación estructural en el acero y tienda a fragilizar. El precalentamiento será más o menos fuerte de acuerdo al tamaño de la pieza, del espesor a unir y al contenido de carbono. En piezas pequeñas, el precalentamiento muchas veces será innecesario.

En general, el pre-calentamiento se hace en una anchura entre 6 y 12 S, en ambos lados de las chapas, siendo S espesor del metal base.

El precalentamiento del acero que se va a soldar disminuye la velocidad de enfriamiento en el área de soldadura. Esto puede ser necesario para evitar fisuración del metal depositado o en la zona afectada por el calor. La necesidad de precalentar aumenta con el espesor del acero, soldaduras con dilatación restringida, el contenido de carbono/aleación del acero y el hidrógeno difusible del metal depositado. El precalentamiento se aplica comúnmente con lanzas de gas combustible o calentadores de resistencia eléctrica.

Hay diversos métodos para obtener la temperatura de precalentamiento, como puede ser, el método Sefirian, que es el que hemos utilizado en este caso.

En este caso utilizaremos el **método Sefirán**.

Para ello primero calcularemos el carbono equivalente del metal base para lo cual se utiliza la fórmula:

$$C_e(\%) = C_s(\%) + \frac{Mn(\%)}{20} + \frac{Ni(\%)}{15} + \frac{Cr(\%) + Mo(\%) + V(\%)}{5} + \frac{Si(\%)}{4}$$

$$C_e(\%) = 0.15 + \frac{0.6}{20} + \frac{0.02}{15} + \frac{0.17}{5} + \frac{0.25}{4} \cong 0.28$$

Seguido utilizaremos la fórmula para el cálculo del precalentamiento:

$$T_{pre} = 350 \cdot \sqrt{C_e^s - 0.25}$$

- En la que:

$$C_e^s = C_e (1 + 0.005 \cdot S)$$

- En donde: -

- C_e es el carbono equivalente calculado anteriormente.
- C_e^s es una temperatura de pre-calentamiento virtual; cuando $C_e^s \leq 0.25$ se considera que la unión se puede realizar sin precalentamiento.

Por tanto:

$$C_e^s = 0.28 (1 + 0.005 \cdot 12) = 0.297.$$

Y:

$$T_{pre} = 350 \cdot \sqrt{0.297 - 0.25} = 75.87 \text{ °C}$$

La temperatura de precalentamiento será aproximadamente de unos 75 °C.

12. CONCLUSIONES.

1 *Reducción del tiempo de fabricación* ya que, al tener almacenadas y fabricadas las distintas partes que componen la calderería completa del eje vertical, se consigue así cumplir uno de los principales objetivos del proyecto, ya que, al realizar un pedido, este suele ser uno de los principales problemas ya que para llegar a plazos del montaje final es necesario tener lo antes posible las piezas realizadas para el ensamblaje completo de máquina.

2 *Reducción de costes* ya que la reducción de tiempo de fabricación reduce el tiempo que los operarios dedican a su montaje.

3 *Mejora del producto final*, ya que, al reducirse los tiempos de fabricación, aumenta el tiempo que pueden dedicar los distintos departamentos, como pueden ser:

- a. *Montaje*, ya que tendrán más tiempo para afinar el ensamblaje de máquina.
- b. *Logística*, ya que tiene más tiempo para buscar una mejor coordinación y un mejor coste en todo el proceso.
- c. *Compras*, ya que tiene más tiempo para cotejar las posibles ofertas.
- d. *Ingeniería*, ya que se tiene más tiempo para optimizar, abaratar y reducir el N.º de posibles errores en la fabricación y resultado final del conjunto de máquina.

- 4 *Mejora del producto final* ya que el operario trabaja con menos presión para llegar a plazos de entrega del producto acabado.
- 5 *Se ha conseguido igualar o superar la rigidez del eje convencional* que era otro de los objetivos para no minimizar las prestaciones del eje vertical de partida.
- 6 *Adaptabilidad*, es un proceso totalmente adaptable a las principales piezas estructurales de la máquina, como puede ser el eje horizontal y a los distintos tipos de máquina, ya que bastaría con variar las dimensiones de los distintos módulos.
- 7 *Utilizar*, conocimientos adquiridos en el máster en las distintas asignaturas empleándolos unos más y otros menos en la realización del trabajo fin de master.
- 8 *Realizar un estudio del proceso de fabricación* del mismo para afianzar conocimientos en la fabricación del mismo.

13. BIBLIOGRAFIA.

La mayoría de la información la he obtenido mediante la búsqueda en internet.

- PROGRAMAS DE CALCULO Y CAM

[1] http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/simcenter/nastran/

[2] <https://www.3ds.com/products-services/catia/>

[3] https://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/products/nx/9/for-manufacturing/nx-cam.shtml

- CALDERERIA

[4] <http://cursosdelmetal.blogspot.com.es/2013/04/concepto-basico.html>

- ALIVIO DE TENSIONES DE LAS PIEZAS

[4] http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/13684/TFM%20Gorka%20Garcia%20Rodero%20Sept_2014.pdf?sequence=1

- LIMPIEZA MEDIANTE GRANALLADO

[5] http://www.tupy.com.br/downloads/pdfs/granalhas/grana_esp.pdf

- MODOS DE VIBRACION DE ESTRUCTURAS

[6] https://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_modal_utilizando_FEM

CARACTERISTICAS DEL HILO DE SOLDADO

[7] <http://www.romatconstruct.ro/docs/filcord%20c.pdf>

CARACTERISTICAS DEL GAS DE PROTECCION

[8] http://www.metalia.es/data/empresas/Messer/pdf/catalogo_soldadura_low.pdf

TEMAS VARIOS

[9] https://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura_MIG/MAG

[10] http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/3218/mod_resource/content/1/Teoria/Capitulo_XIII.pdf

[11] <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6080/06.pdf?sequence=7>

LIBROS

- José María Lasheras y Javier F. Carrasquilla y EDITORIAL DONOSTIARRA. "CIENCIA DE MATERIALES"
- D.Seferian. "LAS SOLDADURAS. TECNICA Y CONTROL" Editorial Urmo. España (1981)
- R.Rowe y L.Jeffeus. "MANUAL DE SOLDADURA GMAW (MIG-MAG). Paraninfo Ediciones. España.

NORMAS

- *Normas UNE EN ISO 2553:2014*
Soldeo y procesos afines. Representación simbólica en los planos. Uniones soldadas. (ISO 2553:2013)
- *Norma UNE EN ISO 9692-1:2014*
Soldeo y procesos afines. Tipos de preparación de uniones. Parte 1: Soldeo por arco con electrodos revestidos, soldeo por arco protegido con gas y electrodo de aporte, soldeo por llama, soldeo por arco con gas inerte y electrodo de wolframio y soldeo por haz de alta energía de aceros. (ISO 9692-1:2013).
- *NORMA UNE EN ISO 9692-2/AC:1999*
Soldeo y procesos afines. Preparación de uniones. Parte 2: Soldeo por arco sumergido de aceros. (ISO 9692-2:1998).
- *NORMA UNE EN ISO 9692-2/1998*
Soldeo y procesos afines. Preparación de uniones. Parte 2: Soldeo por arco sumergido de aceros. (ISO 9692-2:1998).
- *NORMA UNE EN ISO 4083:*
Soldeo y técnicas conexas. Nomenclatura de procesos y números de referencia. (ISO 4063:2009, versión corregida 2010-03-01).
- *NORMA EN 1993-1-8 del EUROCODIGO 3 METODO DE LAS DIRECCIONES*

Artajona a 18 de septiembre de 2017

José Francisco Elío Jimeno

Master en Ingeniería de Materiales y Fabricación

